

V zásadě existují dvě cesty, které má zájemce o radiotechniku na vybranou: buďto jednoduše kopírovat různé návody z různých pramenů, nebo takové konstrukce zlepšovat, upravovat, či dokonce sám navrhovat. Nelze jednoznačně zavrhnout ani jeden z těchto způsobů – ne pro každého je možné – ať už z časových nebo jiných důvodů – zabývat se radiotechnikou tak, aby zvládl všechna její úskalí a stal se samostatným konstruktérem. Přesto však by mělo být cílem každého, kdo se chce stát skutečným radioamatérem, získat aspoň tolik znalostí a vědomostí, aby nebyl odkázán výhradně jen na bezduché kopírování. Tato cesta vede také bezpečněji k cíli –

při takové „fortelné“ práci je už třeba vzít na pomoc např. logaritmické pravítko, grafy, nomogramy a přinejmenším alespoň násobení, dělení, další základní početní úkony a samozřejmě sáhnout i hlouběji do svých vědomostí.

Mnohému se bude zdát tato cesta alespoň ze začátku složitá a časově náročná; teprve po čase však zjistí, že si vlastním návrhem a používáním různých pomůcek (např. grafů a nomogramů) ušetří nejen mnoho práce a zkoušení (i když se bez nich ani v tomto případě samozřejmě neobejde), ale i peněz za zničené a neupotřebené součástky, elektronky a tranzistory. Bude si také umět lépe poradit s opravou a úpravami zařízení, ověří si



BASTLÍŘ NEBO RADIOAMATÉR ?

k dobře fungujícímu zařízení, které splňuje všechny požadavky.

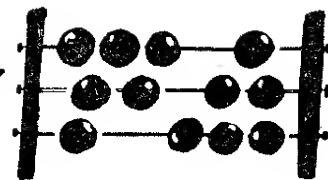
Výsledkem snažení každého radioamatéra by mělo být, aby zařízení, na jehož stavbu obětoval čas, finanční prostředky (a nebývají to právě malé položky) a k vůli němuž si odřekl i různé „světские radovánky“, bylo alespoň na takové úrovni, jakou má podobné zařízení tovární. Jde totiž vždy o výrobu jednotlivého kusu, při níž by nemělo být problémem dosáhnout takových parametrů, jaké při sériové výrobě nelze zajistit. Většinou je možné to dokázat – ovšem nikdy to nepůjde jen se šroubovákem a páječkou –

dokonale jeho funkci, bude dobře rozumět jeho činnosti, obsluze i údržbě. A konečně – jeho zařízení bude takové, jaké je chtěl mít. To všechno je v možnostech každého, ať již začátečníka nebo zkušeného pracovníka, který se chce zabývat radiotechnikou seriózně.

Abychom zvláště méně zkušeným usnadnili první kroky na této cestě ke skutečnému radioamatérství, rozhodli jsme se věnovat toto číslo Radiového konstruktéra nomogramům a nejdůležitějším výpočtům.

Ať tedy na otázku „Bastlíř nebo radioamatér?“ se ozve vždycky odpověď: „radioamatér“. Tomuto cíli má sloužit i obsah následujících stránek.

NEBOJTE SE POČÍTÁNÍ



Ing. A. Melezinek - J. Sedláček

Jak pracovat s matematickými vzorci

Jednoduchý rozhlasový přijímač je v zásadě možné s úspěchem postavit, aniž bychom se hlouběji seznamovali s teoretickými základy slaboproudé elektrotechniky. Stačí, přidržujeme-li se přesně návodu, který jsme si vybrali v některém radioamatérském časopise nebo příručce. Při troše šikovnosti, kvalitních součástkách a popřípadě i s radou zkušenějšího radioamatéra se sotva setkáme s neúspěchem.

Domácí konstruktér, jemuž se experimentování v radiotechnice po čase stalo koníčkem, se však sotva spokojí se stavbou přístrojů jen podle návodů. Bude se pravděpodobně snažit uplatnit své tvůrčí schopnosti a konstruktérskou dovednost stavbou náročnějších přístrojů. Hned na začátku však narazí na problém, může-li si dovolit změnit něco v zapojení přístroje, který chce např. upravit pro jiný vlnový rozsah nebo postavit z jiných součástek, které má k dispozici, popřípadě zlepšit citlivost, zmenšit rozměry a podobně. To však už znamená zahluubat se trochu do teorie a rozšířit nebo osvěžit si vědomosti, které kdysi načerpal ve škole v hodinách fyziky. Přitom hned také pozná, že při aplikaci fyzikálních pouček se neobejde bez počítání. A to se mnohému zdá být kamenem úrazu. Chceme proto ukázat, že i bez hlubších znalostí matematiky se dají potřebné výpočty realizovat. Stačí k tomu jen to, co jsme se naučili ve škole. Dá se snad předpokládat, že čtyři základní matematické úkony – sčítání, odčítání, násobení a dělení – nikdo z čtenářů nezapomněl, i když ho od školy dělí třeba už hezká řádka let. Hůře se už zápolí s rovnicemi a máme-li nějaké číslo dokonce umocnit

nebo odmocnit, to už mnohého jímá opravdová nechuť pokračovat. Proto si v dalších kapitolách naznačíme, jak tyto mezery nejsnadněji překlenout a jak pokračovat, aniž bychom museli začínat od Adama.

Počítání s rovnicemi

Radioamatér konstruující jakýkoli přístroj se setkává s nutností vypočítat hodnoty některých součástí podle vzorců. Tyto vzorce bývají autory článků citovány tak, že stačí za obecné výrazy (tj. za písmena ve vzorci) dosadit skutečné hodnoty. Ukážeme si to na několika příkladech.

Vzorce uváděné v radiotechnické literatuře jsou z matematického hlediska vlastně rovnice, zpravidla o jedné neznámé, umístěné obvykle před rovnítkem. Neznámou veličinu potřebujeme zjistit. Za rovnítkem jsou pak obecné členy, za něž při řešení dosazujeme skutečné hodnoty. Obě poloviny rovnice musí být v rovnováze; to znamená, že výsledná velikost členů za rovnítkem udává velikost hledané hodnoty výrazu před rovnítkem. S jednoduchým případem rovnice se setkáme například při výpočtu výsledného odporu dvou do série zapojených odporů R_1 a R_2 , tvořících např. dělič napětí. Výsledná hodnota R_v se vypočte podle vzorce

$$R_v = R_1 + R_2.$$

Není to tedy nic jiného než prostý součet obou hodnot, k němuž běžně nepotřebujeme používat obecné matematické výrazy. Tuto rovnici si můžeme upravit srozumitelněji takto:

výsledná hodnota odporu = hodnota 1. odporu + hodnota 2. odporu.

Další základní rovnicí, s níž se v každé učebnici radiotechniky setkáváme, je Ohmův zákon:

Napětí = proud \times odpor.

Protože vypisování rovnic slovy by nebylo praktické, označujeme napětí písmenem U , proud písmenem I a odpor písmenem R . Tatáž rovnice potom zní: $U = I \times R$ nebo $U = I \cdot R$, popřípadě $U = IR$, protože křížek, který znamená, že oba členy I a R máme navzájem násobit, nahrazujeme častěji tečkou nebo jej vůbec vynecháváme. Stejně nahrazujeme výraz dělení z praktických důvodů zlomkovou čarou, takže druhý tvar Ohmova zákona pro výpočet proudu

$$I = U : R \text{ píšeme zásadně } I = \frac{U}{R}.$$

Přitom u každého vzorce musí být legenda, která vysvětluje, co jednotlivé symboly (písmena) znamenají a v jakých veličinách máme dosazovat. U Ohmova zákona jsme si už vysvětlili, co znamená U , I a R ; zbývá jen dodat, že U se dosazuje ve voltech, I v ampérech a R v ohmech. Jednotky se zpravidla uvádějí hned za rovnicí v hranaté závorce.

V radiotechnických vzorcích se vyskytují nejčastěji hlavní všeobecně známé početní úkony, tj. sčítání a odčítání, násobení a dělení, umocňování a odmocňování. Složitějšími vzorci se zabývat nebudeme. Znaménka pro násobení a dělení jsme si již vysvětlili, pro sčítání a odčítání používáme $+$ a $-$, pro umocňování malý index nahoře (např. U^2), pro odmocňování tzv. odmocnínko ($\sqrt{\quad}$) – bez označení, jde-li o druhou odmocninu a s označením, jde-li o odmocninu vyššího řádu ($\sqrt[3]{\quad}$). Jak se řeší taková složitější rovnice?

Tak například výslednou kapacitu dvou do série zapojených kondenzátorů vypočteme podle vzorce:

$$C_v = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad [\text{pF}].$$

V rovnici značí

C_v – výslednou kapacitu,

C_1 – kapacitu 1. kondenzátoru,

C_2 – kapacitu 2. kondenzátoru.

Všechny hodnoty v tomto případě dosazujeme v pikofaradech, jak je za rovnicí uvedeno v závorce. Má-li v našem případě C_1 kapacitu 300 pF a C_2 kapacitu 200 pF, zjistíme výslednou kapacitu prostým dosazením obou hodnot do uvedeného vzorce za C_1 a C_2 :

$$C_v = \frac{300 \cdot 200}{300 + 200}.$$

Po vynásobení dosazených členů v čitateli a po jejich sečtení ve jmenovateli dostaneme

$$C_v = \frac{60\,000}{500}.$$

Protože víme, že zlomek ve vzorci nahrazuje dělení, můžeme psát $C_v = 60\,000 : 500$, z čehož dostaneme výsledek $C_v = 120$. Tento výsledek říká, že kapacita dvou do série zapojených kondenzátorů 300 a 200 pF je 120 pF.

Jiný vzorec, podle něhož vypočítáme rezonanční kmitočet laděného obvodu složeného z cívky a kondenzátoru v paralelním zapojení, zní:

$$f = \sqrt{\frac{25\,330}{L \cdot C}} \quad [\text{MHz}; \mu\text{H}, \text{pF}],$$

kde f = rezonanční kmitočet [MHz],

L = indukčnost cívky [μH],

C = kapacita kondenzátoru [pF].

Číslo 25 330 je konstanta (stálé číslo).

Výpočet rezonančního kmitočtu laděného obvodu složeného z $L = 200 \mu\text{H}$ a $C = 50 \text{ pF}$ je jednoduchý:

$$\text{Po dosazení } f = \sqrt{\frac{25\,330}{200 \cdot 50}}$$

$$\text{a po vynásobení } f = \sqrt{\frac{25\,330}{10\,000}}$$

dostaneme podíl $f = \sqrt{2,533}$, který je třeba odmocnit.

Pomocí logaritmického pravítka nebo z tabulek zjistíme, že druhá odmocnina čísla 2,533 je přibližně 1,592 a že rezonanční kmitočet uvedeného paralelního laděného obvodu bude

$$f \doteq 1,592 \text{ MHz.}$$

Ani se složitějšími vzorci o více členech není těžké pracovat. Jako příklad nám poslouží vzorec pro výpočet indukčnosti válcové cívky

$$L = \frac{0,41 \cdot r^2 \cdot n^2}{9r + 10l} \quad [\mu\text{H}; \text{cm}].$$

Ve vzorci značí

L – hledanou indukčnost cívky [μH],

r – poloměr cívky [cm],

l – délku vinutí [cm],

n – počet závitů drátu.

Při praktickém použití vzorce postupujeme podobně jako v předcházejícím případě. Máme-li cívku o \varnothing 4 cm (polo-

měr cívky je tedy 2 cm) s délkou vinutí 6 cm a počtem závitů 120, bude její indukčnost

$$L \doteq \frac{0,41 \cdot 2^2 \cdot 120^2}{(9 \cdot 2) + (10 \cdot 6)}.$$

Po umocnění a vynásobení

$$L \doteq \frac{0,41 \cdot 4 \cdot 14\,400}{18 + 60} = \frac{23\,040}{78},$$

$$\text{tj. } L \doteq 23\,040 : 78 \doteq 295 \mu\text{H.}$$

Vypočítali jsme, že hledaná indukčnost válcové cívky udaných rozměrů je podle našeho výpočtu 295 μH .

Pokud se ve vzorci vyskytují některé členy v závorkách, musíme začínat s odstraňováním těchto závorek. Děláme to tak, že závorkou oddělené členy po dosažení nejdříve matematicky zpracujeme (sečteme, vynásobíme apod.), abychom dostali jediné číslo. Zlomkem naznačené dělení je možné provádět až nakonec, kdy jsme v čitateli (nahore) i ve jmenova-

Tabulka 1. Nejdůležitější elektrotechnické jednotky

Název	Označení	Základní jednotka	Zkratka	Násobky
Napětí	U	volt	V	kV; mV, μV
Elektromotor. síla	E	volt	V	kV; mV, μV
Proud	I	ampér	A	mA, μA
Odpor	R	ohm	Ω	k Ω , M Ω
Impedance	Z	ohm	Ω	k Ω , M Ω
Zdánlivý odpor	X	ohm	Ω	k Ω , M Ω
Specifický odpor	ρ	ohm/mm ² na metr	Ωm	
Elektrická vodivost	G	siemens	S	($S = \frac{1}{\Omega}$)
Indukčnost	L	henry	H	mH, μH
Kapacita	C	farad	F	μF , nF, pF,
Kmitočet	f	hertz	Hz	kHz, MHz, GHz
Vlnová délka	λ	metr	m	km; dm, cm, mm
Elektrický výkon	P	watt	W	WM, kW; mW, μW
Zdánlivý výkon	P_z	voltampér	VA	kVA
Účinnost	η	procento	%	
Magnet. indukce	B	tesla	T	starší jednotka gauss (1 T = 10 000 G)
Permeabilita	μ	henry na metr	H/m	

teli (pod zlomkovou čarou) dostali celkové součty nebo násobky vyjádřené jen jedním číslem, jak je z předcházejících příkladů zřejmé.

V obecných vzorcích jsou jednotlivé položky vyjádřeny vždy nějakým písmenem, které má povětšinou připojen ještě malý index (např. R_a), který blíže určuje dosazovanou veličinu. Písmena – převzatá nejen z latinské abecedy, ale velmi často i z řecké – se nevolí náhodně, ale podle ustáleného pořádku (normy), jak je vidět z tabulky 1.

Tab. 2. Nejčastěji používaná matematická znaménka

\div	od do
$=$	rovná se
\approx	přibližně se rovná
\approx	zhruba se rovná
$<$	menší než
$>$	větší než
Δ	malý rozdíl

Co jsou logaritmy a jak se pracuje s logaritmickým pravítkem?

Podstata logaritmů

V radiotechnice se vyskytují součásti, jejichž hodnota se vyjadřuje vícemístným číslem nebo zase naopak číslem, které je třeba milióntým dílem jednotky. Například: v rozhlasových a televizních přijímačích se běžně vyskytují odpory o hodnotě 5 až 10 megaohmů a kondenzátory o kapacitě několika desítek pikofaradů. To znamená, že odpor 5 megaohmů je 5 000 000 Ω a naproti tomu kondenzátor 50 pikofaradů musíme v mikrofara-
dech vyjádřit číslem 0,00005.

Abychom se vyhnuli uvádění zvlášť nepřehledných cifer, píšeme je často jako mocninu deseti. Ze školy víme, že 10^2 je 100, 10^3 je 1000, 10^4 je 10 000. Možná, že jsme však již zapomněli, že 10^1 je zase 10 a 10^0 je dokonce jen 1.

Seřadíme si tyto mocniny do tabulky:

10^6	= 1 000 000 (mega – M – např. M Ω)
10^5	= 100 000
10^4	= 10 000
10^3	= 1000 (kilo – k – např. kV)
10^2	= 100
10^1	= 10
10^0	= 1
10^{-1}	= 0,1
10^{-2}	= 0,01
10^{-3}	= 0,001 (mili – m např. mA)
10^{-4}	= 0,0001
10^{-5}	= 0,00001
10^{-6}	= 0,000001 (mikro – μ např. μ A) atd.

Jistě jste si všimli, že od čísla 0,1 všechna další menší desetinná čísla se dají vyjádřit jako mocnina deseti se záporným znaménkem před mocnitelem. S vyjadřováním velkých nebo naopak velmi malých čísel mocninou deseti se také někdy setkáváme v radiotechnických vzorcích, kde nahrazují příliš dlouhé číselné výrazy. Při řešení rovnic, kde jsou některá konstantní čísla takto uváděna, stačí uvědomit, že jakoukoli mocninu deseti změním na reálné číslo, napíšeme-li za jednotku tolik nul, kolik činí mocnitel, pokud je mocnitel kladný; je-li mocnitel záporný, napíšeme s mocnitelem shodný počet nul před jedničkou, přičemž za první nulu nesmíme zapomenout napsat desetinnou čárku. Jako příklad uvádíme vzorec pro výpočet zdánlivého odporu kondenzátoru, v němž se mocnina deseti vyskytuje v čitateli:

$$X_c = \frac{10^6}{2\pi \cdot f \cdot C} \quad [\Omega; \text{Hz}, \mu\text{F}].$$

Mocnina 10^6 v tomto případě nahrazuje číslo 1 000 000, které do vzorce dosadíme při konečném řešení rovnice. π je Ludolfovo číslo, tj. 3,14.

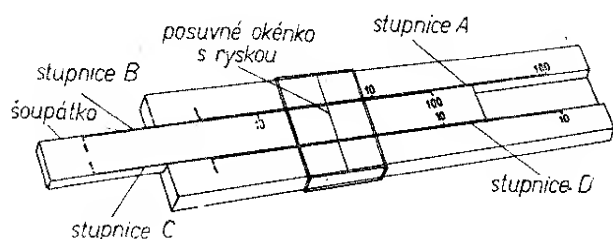
Tímto výkladem však chceme dospět ještě k jinému cíli. Chceme vysvětlit, co to jsou logaritmy a seznámit vás s použitím logaritmického pravítka, které je pro každého domácího konstruktéra užitečnou pomůckou. Zadíváte-li se na tabulku mocnin deseti, napadne vás možná, zda by se tímto způsobem dala vy-

jádrít i jiná čísla než jen celé desítky, stovky nebo tisíce. Odpověď na takovou otázku je kladná. Úvahou dojdeme k tomu, že mocnitel deseti pro libovolné tří-místné číslo, například 631, bude větší než dvě, ale menší než tři, protože 631 je víc než 10^2 , ale méně než 10^3 . Moc-nitel tedy musí být desetinné číslo, v to-mto případě 2,8, jak můžeme zjistit z lo-garitmických tabulek. Můžeme tedy na-psat, že $631 = 10^{2,8}$. V matematice je zvykem nazývat mocnitele k základu 10 logaritmem. Tímto způsobem můžeme vyjádřit libovolně velké číslo podstatně stručněji.

Na pohled se zdá, že nám toto zjištění nebude k ničemu užitečné, pokud ovšem nevíme, že násobení dvou libovolných čísel můžeme použitím logaritmů zjed-nodušit na pouhé sčítání, dělení na odčítání, umocňování a odmocňování na ná-sobení a dělení logaritmů. Tohoto faktu je využito k zjednodušení matematických výkonů při počítání s logaritmickým pra-vítkem, jehož použití si vysvětlíme.

Počítání s logaritmickým pravítkem

Začneme popisem. Při pohledu na lo-garitmické pravítko zjistíme, že má cel-kem čtyři stejně dlouhé hlavní stupnice, z nichž dvě jsou na jeho pevné části a dvě na pohyblivé, na tzv. šoupátku. Všimáme si jen těch stupnic, které se stýkají na obou okrajích pevné a pohy-blivé části pravítka, ostatní nebudeme za-tím potřebovat. Zjistíme, že obě horní stupnice, obvykle označené jako A a B, jsou rozděleny do 100 dílků, spodní C a D jen na 10 dílků, jak je vidět na obr. 1. Prohlédněme si je dobře, protože jejich dělení je značně nerovnoměrné. Všechny stupnice se směrem doprava zhušťují, což poněkud ztěžuje jejich přehlednost.



Obr. 1.

Dělení stupnic v levé části (zejména na začátku) je podrobnější než u pravého konce. Součástí pravítka je i průhledné okénko, s jednou nebo třemi ryskami; to lze posouvat po celé délce pravítka, která u školního typu činí 25 cm (existují také kapesní pravítka o délce 10 cm). Rozdíl mezi nimi je jen v přesnosti čtení výsledku. Hned na začátku je třeba pozname-nat, že na logaritmickém pravítku nelze dělat výpočty s absolutní přesností. Každý výsledek, který dostaneme, je od třetího, popřípadě čtvrtého místa zaokrouh-len. To znamená, že třeba při násobení čísel 694×2856 dostaneme místo přes-ného výsledku 1 982 064 zaokrouhlený výsledek 1 982 000, na kapesním jen 1 980 000. Tyto menší nepřesnosti nám však v mnohých případech v radiotech-nice nevadí. Uvědomíme-li si, že hodnoty součástí jsou už výrobcem uváděny s přesností 5 nebo i 10 %, jsou chyby v počítání na pravítku zanedbatelné.

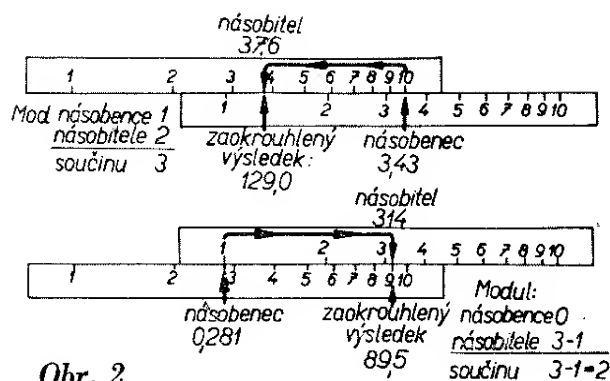
A nyní přistoupíme k vysvětlení, jak se vlastně s logaritmickým pravítkem po-čítá. Nejprve probereme násobení a dě-lení. Řekli jsme si, že při násobení a dě-lení se jen sčítají logaritmy (mocnitele). U pravítka to znamená, že sčítáme nebo odčítáme dvě úsečky odpovídající veli-činám, které máme navzájem násobit nebo dělit.

Při násobení postupujeme takto: na stupnici D vyhledáme dílek odpovídající číslu, které máme jiným číslem násobit. Nad tento dílek nastavíme levý nebo pravý okraj (1 nebo 10) stupnice C šou-pátka a pod dílkem odpovídajícím násob-iteli (vyhledaném na stupnici C), čteme na D přímo výsledek. Při manipulaci s pravítkem si pomáháme posuvným okénkem, jehož střední rysku nastavíme vždy na příslušný dílek, který jsme na stupnici vyhledali a s nímž právě ma-nipulujeme. Nejlépe to pochopíme na pří-kladu. Vynásobme 415×32 . I když obě stupnice C i D končí číslem 10, můžeme na nich vyhledávat libovolně velká nebo malá čísla, přimyslíme-li si potřebný počet míst posunutím desetinné čárky vpravo nebo vlevo. V našem případě přidáme v mysli ke všem číselným hodnotám stupnice D dvě nuly (násobíme stem), takže dílek 4,15 bude představovat ná-

sobence 415. Okénko posuneme tak, aby střední ryska se kryla s dílkem 4,15. K této rysce přisuneme pravý okraj stupnice C šoupátka s číslem 10. Na téže stupnici vyhledáme dílek 32, okénko přesuneme nad tento dílek tak, aby se s ním střední ryska kryla co nejpřesněji a pak pod touto ryskou čteme na stupnici D výsledek. Čteme 1328, zatím bez určené polohy desetinné čárky, protože řád výsledku budeme teprve určovat.

V tomto případě je to jednoduchá záležitost. Sečteme celá místa násobence i násobitele (číslo 415 má 3 celá místa, číslo 32 má 2, tj. dohromady 5 celých míst) a pak číslo 1328 doplníme nulou na 5 celých míst, tedy 13 280, což je konečný výsledek. Zkontrolujeme, odpovídá-li výpočet skutečnosti ($415 \times 32 = 13\,280$). Při čtení výsledku se u posledního čísla 8 můžeme již dopustit nepřesnosti, protože zde pracujeme jen odhadem podle polohy rysky mezi dílky 20 a 30. To je také maximální přesnost, jaké můžeme dosáhnout.

Na tomto případě jsme se přesvědčili, že počítání s pravítkem je snadné a rychlé. Postupme však dále. Podíváme-li se nyní po skončení výpočtu na pravítko, poznáme na první pohled, že pouhým posouváním okénka bychom číslo 415 mohli násobit jiným libovolným číslem od 2,41 do 10, popřípadě řádově rozšířeným nebo zmenšeným. V oblasti čísel 1 až 2,41 včetně vyšších řádů bychom násobek nenašli, protože zde se stupnice C a D nekryjí. Kdybychom měli násobit např. číslem 19, museli bychom šoupátko přesunout tak, aby nad násobencem, jímž je v našem případě číslo 415, byl levý konec stupnice C na šoupátku s číslem 1. Pod číslem 19 pak čteme výsledek 788. Budeme nyní opět rozšiřovat počet celých míst? Pravidlo říká, že v případě, kdy nad násobené číslo nastavujeme levý okraj stupnice C s číslem 1, musíme součet celých míst násobence i násobitele zmenšit o jedno. V našem případě je počet celých míst 5 a po zmenšení o jedno zbývají 4. Výsledek tedy bude 7880, což je číslo, které se jen nepatrně liší do přesného násobku. Kdybychom místo 19 násobili číslem 0,19, byl by počet celých míst ve výsledku $3 + 0 - 1 = 2$,



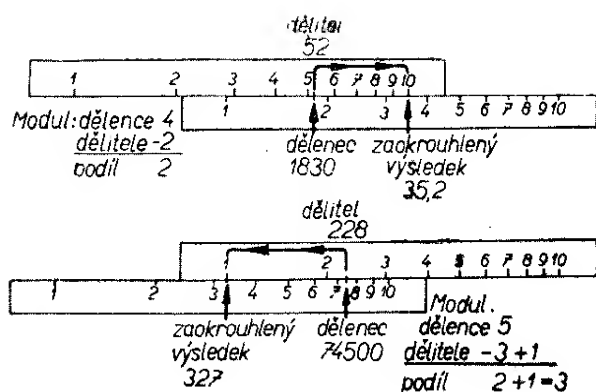
Obr. 2.

takže bychom výsledek upravili na 78,8. Je přirozené, že kdyby násobitel byl ještě o jedno místo menší, tedy 0,019, museli bychom ve výsledku stanovit jenom jedno celé místo, protože $3 - 1 - 1 = 1$. Tedy 7,88. Pro násobení platí v tomto případě pravidlo, že počet celých míst ve výsledku je určen součtem celých míst násobence i násobitele při nastavení pravého okraje stupnice C s číslem 10 nad násobence. Při nastavení levého okraje s číslem 1 musíme součet celých míst obou násobených čísel zmenšit o jedno.

K ulehčení stanovení řádu výsledku bylo zavedeno počítání s tzv. moduly čísel. U celých čísel odpovídá modul počtu míst před desetinnou čárkou a je kladný, u čísel menších než 0,1 je záporný a odpovídá počtu nul za desetinnou čárkou. Jako příklad uvádíme moduly některých čísel.

$$\begin{aligned} 139\,000 &= \text{modul } 6 & 0,105 &= \text{modul } 0 \\ 836 &= \text{modul } 3 & 0,036 &= \text{modul } -1 \\ 7,4 &= \text{modul } 1 & 0,0011 &= \text{modul } -2 \end{aligned}$$

Součet modulů (při použití levého okraje stupnice C zmenšený o 1) je rozhodující pro počet celých míst nebo polohu desetinné čárky ve výsledku. Je-li násobec i násobitel číslem se záporným modulem, musí mít výsledek za desetinnou čárkou tolik nul, kolik činí součet obou záporných modulů, zvětšený o další řád v případě použití levého okraje stupnice C. Příklad: $0,0042 \times 0,02 = ?$ Moduly: $-2 - 1 = -3$. Od toho musíme odečíst -1 za použití levého okraje stupnice C; výsledek tedy bude mít modul -4 . Ve výsledku budou za desetinnou čárkou nejprve 4 nuly a bude znít: 0,000084. Příklady násobení na logaritmickém pravítku jsou na obr. 2.



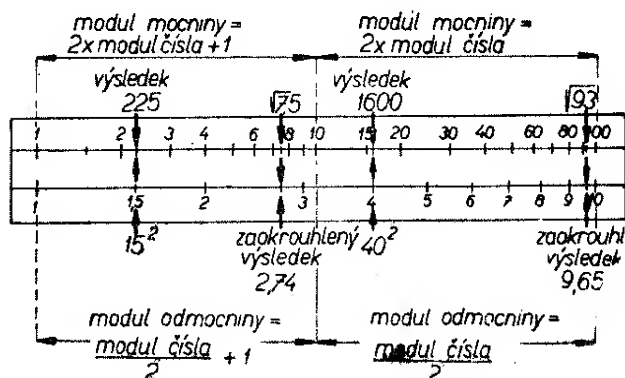
Obr. 3.

Při dělení je postup obrácený: logaritmy místo sčítání odečítáme. Nad dělenec (stup. *D*) nastavíme dělitele a výsledek čteme pod levým nebo pravým okrajem stupnice *C*. Vyzkoušíme si to na praktickém příkladě. Máme dělit $9070 : 27$. Dělenec 9070 vyhledáme na stupnici *D*, posuneme nad něj okénko s ryskou a šoupátko nastavíme tak, aby se ryska současně kryla s číslem 27 na stupnici *C*. Pod levým okrajem této stupnice čteme výsledek 336. Zbývá už jen stanovit řád výsledku. Při dělení se od modulu dělence odečítá modul dělitele. Čteme-li výsledek pod levým okrajem stupnice *C*, musíme zvětšit modul výsledku o jedno celé místo. V našem případě jsme výsledek četli pod levým okrajem; to znamená, že ve výsledku dostaneme 3 celá místa, protože $4 - 2 + 1 = 3$. Podíl tedy činí 336. Určitým problémem je správné umístění desetinné čárky, je-li jeden člen nebo oba menší než 0,1, u nichž je modul záporný. Zde si musíme uvědomit, že odečtení záporného čísla se rovná jeho přičtení. Ukážeme si to na příkladech. Máme vypočítat $24 : 0,03$. Modul bude $2 - (-1)$, tj. $2 + 1$, což se rovná 3. Výsledek je tedy 800. Další příklad: $0,063 : 0,0045 = ?$ Modul bude $-1 - (-2) = -1 + 2 = 1$. K tomuto modulu přičteme jedničku za čtení výsledku pod levým okrajem stupnice *C*. Modul pro výsledek dělení uvedených čísel má tedy podle našeho propočtu dvě celá místa, takže výsledek bude 14. Umísťování desetinné čárky ve výsledku je třeba procvičit na větším počtu příkladů. Příklady dělení na logaritmickém pravítku jsou na obr. 3.

Umocňování a odmocňování dvěma pomocí pravítka je ještě jednodušší. Šoupátko necháme zasunuto tak, aby se stupnice kryly a pohybujeme jen okénkem. Jeho rysku nastavíme na číslo, které chceme umocnit, na dolních stupnicích *C* a *D*. Výsledek čteme pod ryskou na horních stupnicích *A* a *B*. Modul výsledku je při umocňování dvojnásobkem modulu čísla, které umocňujeme, vyjde-li výsledek mezi dílkami 10 až 100 na horních stupnicích *A* a *B*; čteme-li výsledek mezi 1 až 10, musíme dvojnásobek modulu o jedno místo zmenšit. Při odmocňování postupujeme obráceně. Odmocňované číslo vyhledáme na stupnicích *A* a *B* a výsledek čteme na *C* a *D*. Napřed musíme stanovit modul odmocňovaného čísla. Je-li modul lichý, nastavujeme okénko na příslušný dílek mezi 1 až 10 v levé části stupnice *A* a *B*. Je-li sudý, vyhledáme odmocňované číslo v pravé části horních stupnic v rozsahu dílek 10 až 100. Modul výsledku bude v obou případech polovinou modulu odmocňovaného čísla; přitom lichý modul odmocnence vždy o jedno místo zmenšujeme.

Příklad. – Máme umocnit 204^2 . Modul čísla je 3; modul výsledku bude $6 - 1 = 5$, protože výsledek 424 čteme mezi dílkami 1 až 10 stupnice *A* a *B*. Protože hledaný výsledek má mít 5 míst, doplníme číslo 424 dvěma nulami. To znamená, že 204^2 se přibližně rovná 42 400.

Máme-li odmocnit číslo 27,5, postupujeme takto: protože modul je sudý (dvě celá místa před desetinnou čárkou), nastavujeme okénko nad dílek 275 v rozsahu pravé části horních stupnic *A* a *B* mezi 10 až 100. Na spodních stupnicích



Obr. 4.

C a D čteme výsledek 525. Protože modul odmocněnce byl sudý, je modul výsledku jeho polovinou, tj. 1. Desetinnou čárku tedy umístíme za první číslici výsledku.

Napíšeme $\sqrt{27,5} \doteq 5,25$.

K tomu je třeba ještě poznamenat, že při umocňování nebo odmocňování čísel menších než 0,1 se záporným modulem stanovíme modul podobně: znaménko minus zůstává i před modulem výsledku.

Trojmoci a třetí odmocniny se v radiotechnických vzorcích vyskytují jen velmi zřídka a proto jejich řešení na pravítku neuvádíme. Také o dalších početních úkonech, které pravítko umožňuje, se nezmiňujeme, protože pro naši praxi nejsou nezbytné. Každý, kdo se však naučil uvedeným základním úkonům, snadno se již seznámí s dalšími možnostmi použití logaritmického pravítka. Příklady umocňování a odmocňování na logaritmickém pravítku jsou na obr. 4.

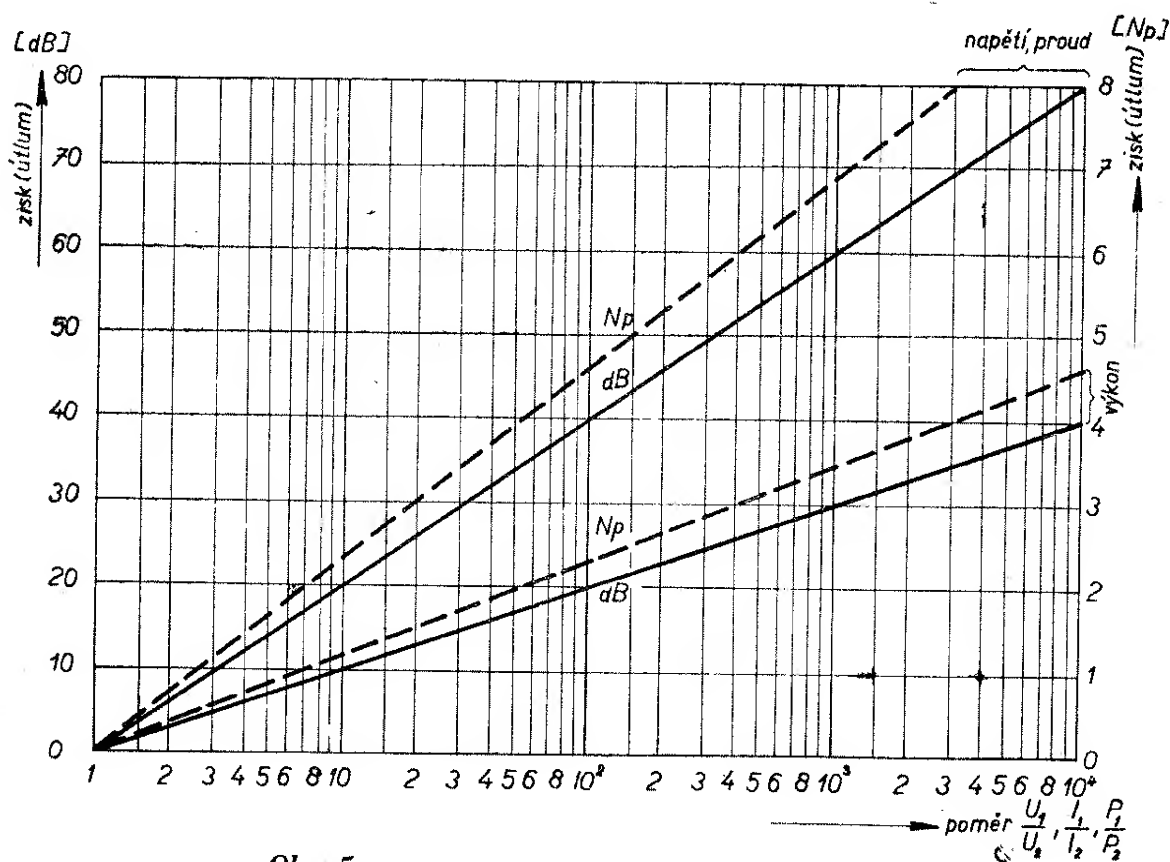
Grafy a nomogramy

Jak již bylo řečeno, radioamatér se při své práci nevyhne počítání, především

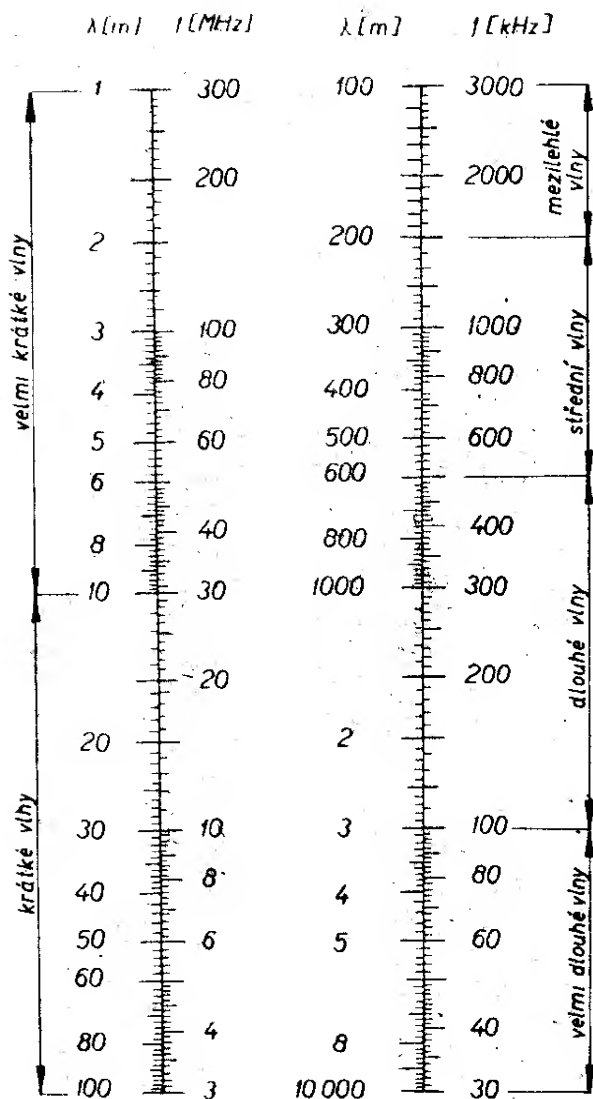
proto, že málokdy má po ruce přesně takové součástky, jaké autoři článků v návodech předpisují. Velmi často potřebuje přepočítat síťový transformátor pro jiný druh plechů, než jaké použil autor, má jiný otočný kondenzátor a musí změnit indukčnost cívek, chce použít tvrdší dělič napětí a musí změnit hodnoty odporů, navrhuje různé změny v zapojení. V takových případech zbývá jediná možnost: vzít papír, tužku a počítat.

Výpočty nejsou vždycky jednoduchou a snadnou záležitostí, zvláště musíme-li je několikrát opakovat. A zde přichází na pomoc geometrie, která umožňuje vyjádřit matematické vzorce graficky a tak nás zbavuje námahy spojené s počítáním podle vzorců.

S grafy se v radiotechnické literatuře setkáváme velmi často. Slouží k vyjádření závislosti jedné nebo několika veličin na jiné veličině libovolně proměnné. Nejznámější jsou např. charakteristiky elektronek, kde soustava souřadných os vyjadřuje závislost anodového proudu na anodovém napětí při libovolném záporném předpětí.



Obr. 5.



Obr. 6.

Na obr. 5 je podobný graf, vhodný pro převod velikostí zesílení nebo útlumu, vyjádřených absolutním číslem, na běžně používané decibely nebo nepery. Chceme-li např. vyjádřit v decibelech zesílení 80, dosažené třeba zesilovačem napětí, vyhledáme na vodorovné ose grafu číslo 80. Od tohoto údaje postupujeme po kolmici až k přímce označené dB (napětí, proud) a z jejich průsečíku pokračujeme v postupu vodorovně vlevo až ke svislé ose čísel 0 až 80 dB, na níž čteme výsledek 38 dB. Podobně převádíme zisk dosažený směrovou anténou, útlum filtrů, ztráty na vedení apod. Na obr. 6 je ještě jednodušší graf, určený pro rychlý převod kmitočtu na vlnovou délku a opačně. Uplatní se při odhadu rozměrů antény, při orientaci na stupnici přijímače apod.

V tomto grafu splynula vodorovná osa se svislou do jedné přímky, takže na společné ose najdeme proti sobě údaje: kmitočet v kHz nebo MHz a vlnovou délku v metrech. Tímto grafem se dvěma stupnicemi na jedné ose můžeme vyjádřit závislost jen dvou proměnných veličin. Grafické řešení funkcí s větším počtem proměnných veličin vyžaduje složitější diagram, běžně označovaný jako nomogram.

Nejpoužívanějšími nomogramy jsou tzv. spojnicové nomogramy, uváděné v dalším textu místo složitějších matematických vzorců. Spojnicový nomogram je soustava os opatřených příslušnými stupnicemi, které propojujeme přímkami mezi dvěma určenými body; tyto přímky vytínají na další ose průsečík s hledanou nebo pomocnou veličinou. Podrobný popis postupu, který ostatně není složitý, uvedeme u každého jednotlivého nomogramu, popřípadě výklad doplníme i schematickým příkladem.

Základní součástky a veličiny radioelektronických přístrojů

Radioelektronické přístroje jsou již běžnou součástí našeho života. Všechny – od nejjednodušších až po velmi složité – jsou sestaveny ze stejných základních součástek, z nichž se nejprve staví obvody a ty pak tvoří celé přístroje.

V této kapitole si všimneme základních veličin elektrických obvodů a nejdůležitějších součástek radioelektronických přístrojů, tj. odporníků (zjednodušeně, ale běžně jim říkáme odpory), kondenzátorů, cívek a vakuových elektronek nebo polovodičových prvků.

Základní veličiny a vztahy

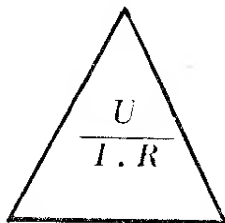
Základními veličinami elektrotechnických obvodů jsou elektrické napětí, elektrický proud, elektrický odpor a výkon elektrického proudu. Souvislost mezi napětím U , proudem I a odporem R

$$10 \cdot \frac{1}{n} R_K$$

udává základní zákon elektrotechniky, Ohmův zákon:

$$U = R \cdot I \quad [V; \Omega, A].$$

Pro snazší zapamatování můžeme Ohmův zákon znázornit takto:

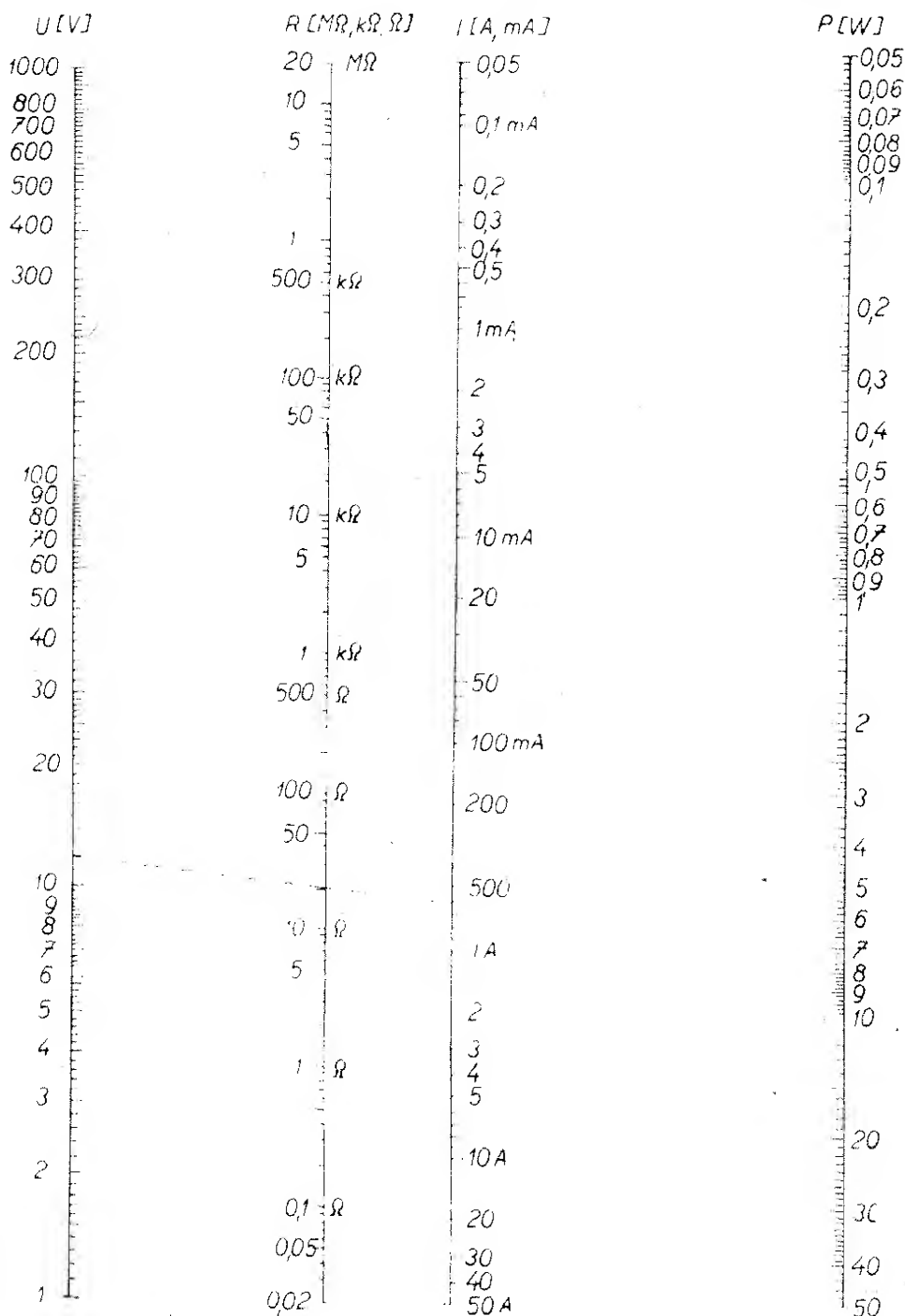


V trojúhelníku vždy zakryjeme hledanou veličinu a zbývající dvě v příslušném uspořádání dávají výsledek.

Výkon elektrického proudu určíme ze známého elektrického napětí a proudu ze základní rovnice:

$$P = U \cdot I \quad [W; V, A].$$

Podobně jako Ohmův zákon, můžeme i rovnici pro výkon napsat v různých tvarech podle toho, které ze čtyř základních veličin elektrického obvodu známe. Uvedme si ještě další rovnice:



Obr. 7.

$$P = R \cdot I^2 \quad [W; \Omega, A],$$

$$P = \frac{U^2}{R} \quad [W; V, \Omega],$$

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad [A; W, \Omega],$$

$$U = \sqrt{PR} \quad [V; W, \Omega].$$

Tyto rovnice používáme i v obvodech střídavého proudu za předpokladu, že obsahují jen činné odpory R . Uplatnění těchto základních rovnic si ukážeme na několika příkladech.

1. Jaký odpor musíme zapojit do obvodu, aby jím při připojení baterie o napětí 12 V protékal proud 0,6 A?

Dosazením do tvaru Ohmova zákona pro výpočet odporu R dostaneme

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12}{0,6} = 20 \Omega.$$

2. Jaký proud protéká žárovíčkou pro osvětlení stupnice rozhlasového přijímače, je-li napětí $U = 6,3$ V a odpor žárovíčky $R = 13,2 \Omega$?

Z tvaru Ohmova zákona pro výpočet proudu I vypočteme:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{6,3}{13,2} = 0,477 \text{ A}.$$

3. Jaký proud protéká žárovíčkou, na níž je označení 6 V/3 W? Potřebujeme vypočítat proud, známe napětí a výkon; vyjdeme proto ze základní rovnice: $P = U \cdot I$ a proud vypočteme z jejího tvaru:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{3}{6,3} = 0,476 \text{ A}.$$

Výpočty podle Ohmova zákona a výpočet výkonu elektrického proudu lze velmi rychle přibližně dělat pomocí nomogramu na obr. 7. Ukážeme si jeho použití; máme např. vyřešit příklad 1, tj. zjistit, jaký odpor musíme zapojit do obvodu, aby jím po připojení baterie o napětí 12 V protékal proud 0,6 A = 600 mA.

Na svislé ose po levé straně nomogramu vyhledáme napětí $U = 12$ V. Z toho-

to bodu vedeme spojnici na stupnici označenou I , kde vyhledáme bod $I = 600$ mA. Tato spojnice vytne na prostřední stupnici (označené R) hledanou velikost odporu $R = 20 \Omega$. Použitím nomogramu jsme tedy dospěli rychle ke stejnému výsledku jako výpočtem.

Odpory

V radioelektronice potřebujeme velmi často součástky, které by kladly průtok elektrického proudu odpor určité velikosti. Tyto součástky se správně jmenují odporníky, v běžné praxi se jim však říká zkráceně „odpory“.

Odpory se vyrábějí ve velkých sériích v nejrůznějších velikostech. Přesto však se někdy může stát, že nemáme k dispozici právě takový, jaký potřebujeme. V takovém případě si můžeme pomoci dvěma způsoby: buďto si odpor potřebné velikosti vyrobíme, nebo získáme odpor potřebné velikosti vhodným spojením dvou, popřípadě několika odporů tak, aby výsledný odpor měl žádanou velikost.

Všimněme si nejprve první možnosti, tj. amatérské výroby odporu. V praxi této možnosti využíváme jen v některých případech, např. potřebujeme-li odpor přesné velikosti k měřicímu přístroji apod. Takový odpor vyrobíme navinutím tzv. odporového drátu na vhodné izolační tělísko, např. keramický váleček.

Výpočet odporu

Odpor vodiče závisí na jeho délce l , průřezu S a na materiálu, z něhož je vyroben. Závislost velikosti elektrického odporu vodiče na materiálu vyjadřujeme tzv. měrným (specifickým) odporem ρ .

Je to odpor drátu o délce 1 m a o průřezu 1 mm² z určitého materiálu. Měrný odpor se udává v Ωm (najdeme jej pro různé materiály v tabulkách).

Velikost elektrického odporu drátu vypočítáme ze vztahu:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad [\Omega; \Omega\text{m}, \text{m}, \text{mm}^2].$$

Velikost odporu vypočtená podle tohoto vztahu však platí zcela přesně jen pro teploty kolem 20 °C.

Příklad. – Pro univerzální rozhlasový přijímač (tj. elektronkový přijímač bez síťového transformátoru) potřebujeme předřadný odpor 700 Ω. Máme k dispozici odporový drát z konstantanu; jeho průměr je 0,2 mm. Kolik metrů tohoto drátu potřebujeme k navinutí žádaného odporu?

V elektrotechnických tabulkách nebo podle údajů výrobce zjistíme, že měrný odpor konstantanu je $\rho = 0,49$. Pro výpočet potřebujeme znát ještě průřez drátu S . Vypočteme jej ze známého průměru d podle přibližného vztahu: $S \doteq 0,785 \cdot d^2 = 0,785 \cdot 0,2^2 = 0,0314 \text{ mm}^2$.

Potřebnou délku drátu již snadno vypočteme; z uvedeného základního vztahu $R = \rho \frac{l}{S}$ vyjádříme délku l jako:

$$l = \frac{R \cdot S}{\rho} = \frac{700 \cdot 0,0314}{0,49} \doteq 44,9 \text{ m.}$$

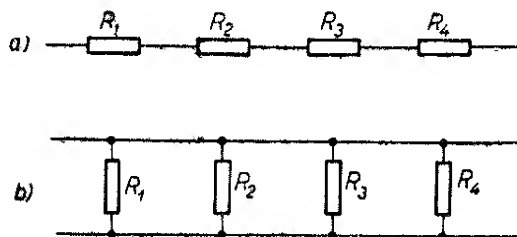
Řazení odporů

Druhou možností, jak získat odpor potřebné velikosti, je spojit vhodně několik odporů, které právě máme k dispozici. Odporů můžeme zapojovat dvěma základními způsoby: (sériově, obr. 8a), nebo vedle sebe (paralelně, obr. 8b).

Při sériovém spojení odporů vypočteme výsledný odpor podle rovnice:

$$R_v = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots \dots \dots [\Omega] \text{ nebo } [k\Omega].$$

Pro paralelní spojení odporů platí vztah:



Obr. 8.

$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \dots \dots [\Omega] \text{ nebo } [k\Omega].$$

Z poslední rovnice si můžeme odvodit upravený vztah pro výpočet výsledného odporu dvou paralelně spojených odporů R_1 a R_2 jako:

$$R_v = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} [\Omega].$$

Příklady

1. Pro vyzkoušení činnosti napájecího zdroje potřebujeme odpor $R_v = 30 \text{ k}\Omega$. Takový odpor nemáme právě po ruce, máme však několik jiných odporů, mezi nimi odpory těchto hodnot: $R_1 = 60 \text{ k}\Omega$, (dva kusy), $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 5 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 15 \text{ k}\Omega$. Jak si poradíme?

První možné řešení nás musí napadnout okamžitě: spojit do série odpory R_2 , R_3 a R_4 . Jejich výsledný odpor bude:

$10 \text{ k}\Omega + 5 \text{ k}\Omega + 15 \text{ k}\Omega = 30 \text{ k}\Omega$, což je právě potřebná velikost R_v .

Druhou možností, při níž vystačíme se dvěma odpory, je spojit paralelně oba odpory R_1 . Podle rovnice pro dva paralelně spojené odpory si zkontrolujeme (dosazujeme v $k\Omega$):

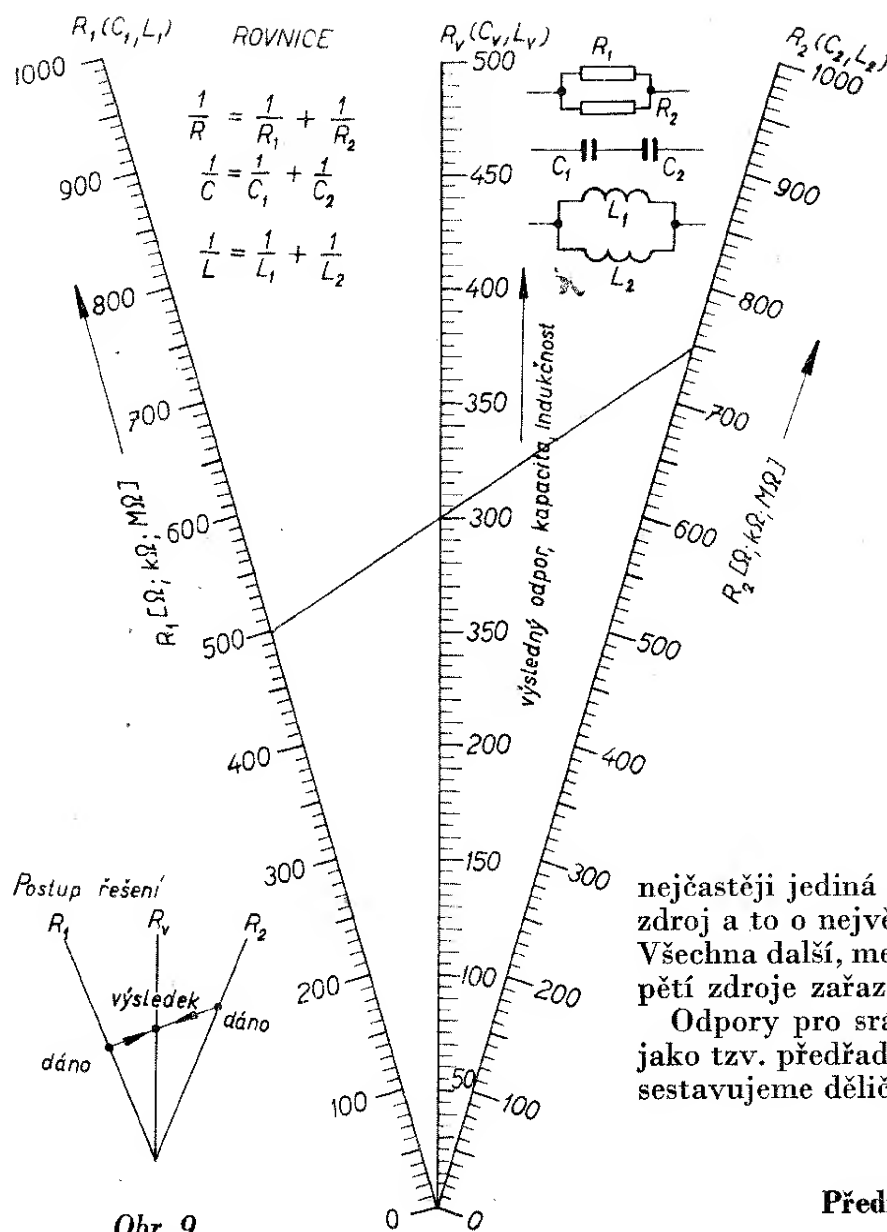
$$R_v = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{60 \cdot 60}{60 + 60} = 30 \text{ k}\Omega,$$

což je opět hledaná velikost R_v .

Pro rychlé přibližné zjištění výsledného odporu dvou paralelně spojených odporů R_1 a R_2 je vhodný nomogram na obr. 9. Ukažme si jeho použití na příkladě: odpory $R_1 = 500 \Omega$ a $R_2 = 750 \Omega$ jsou spojeny paralelně. Jaký je výsledný odpor?

Na levé šikmé stupnici vyhledáme bod $R_1 = 500 \Omega$ a z něj vedeme spojnicí k bodu $R_2 = 750 \Omega$ na pravé šikmé stupnici. Spojnice vytne na střední svislé stupnici (označené R_v) hledanou velikost výsledného odporu $R_v = 300 \Omega$.

Na nomogramu (obr. 9) můžeme také rychle zjišťovat výslednou kapacitu dvou kondenzátorů C_1 a C_2 spojených do série, nebo výslednou indukčnost dvou cívek L_1 a L_2 spojených paralelně.



Použití odporů

V radioelektronických přístrojích používáme odpory nejčastěji ke zmenšení napětí. V rozhlasovém přijímači osazeném tranzistorem potřebujeme např. pro kolektor tranzistoru koncového stupně jiné stejnosměrné napětí než pro tranzistor v předzesilovacích stupních, jiné napětí zase potřebujeme pro báze tranzistorů atd. V jediném radioelektronickém přístroji potřebujeme tedy různé velké napětí a bylo by jistě velmi nepraktické, kdybychom chtěli použít tolik baterií, kolik různých napětí potřebujeme. V praxi se k napájení přístroje používá

nejčastěji jediná baterie, jediný napájecí zdroj a to o největším potřebném napětí. Všechna další, menší napětí získáme z napětí zdroje zařazením odporů.

Odpory pro srážení napětí zapojujeme jako tzv. předřadné (srážecí), nebo z nich sestavujeme děliče napětí.

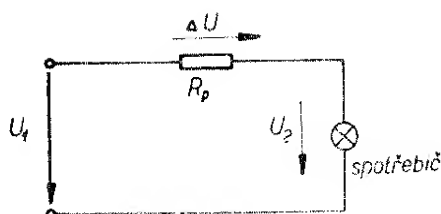
Předřadný odpor

Zdroj má napětí U_1 , které potřebujeme zmenšit o napětí ΔU tak, aby na spotřebiči bylo již jen napětí U_2 . Do obvodu proto zapojíme odpor R_p tak (obr. 10,) aby se na něm přebytečné napětí ΔU srazilo.

Velikost předřadného odporu vypočteme ze vztahu:

$$R_p = \frac{\Delta U}{I} \quad [\Omega; V, A].$$

Příklad. – Napětí napájecího zdroje rozhlasového přijímače je $U_1 = 300 V$. Na anody dvou z elektronek přijímače potřebujeme připojit napětí $U_2 = 250 V$. Obě elektronky jsou napájeny paralelně, anodový proud první elektronky je 5 mA, druhé 3 mA. Máme vypočítat ve-



Obr. 10.

likost potřebného srážecího odporu R_p a výkon, na jaký musí být tento odpor dimenzován.

Nejprve vypočteme, že předřadný odpor R_p musí v našem případě srazit napětí o $\Delta U = 300 \text{ V} - 250 \text{ V} = 50 \text{ V}$.

Předřadným odporem přitom bude protékat proud obou elektronek (v našem případě jsou napájeným spotřebičem obě elektrony) $I = 5 \text{ mA} + 3 \text{ mA} = 8 \text{ mA}$. Velikost předřadného odporu tedy bude:

$$R_p = \frac{\Delta U}{I} = \frac{50}{8 \cdot 10^{-3}} = 6250 \Omega = 6,25 \text{ k}\Omega.$$

Výkon, který se bude v předřadném odporu rozptylovat, vypočteme ze základního vztahu pro výkon elektrického proudu:

$$P = \Delta U \cdot I = 50 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 0,4 \text{ W}.$$

Dělič napětí

Základní zapojení děliče napětí je naznačeno na obr. 11a. Základní typ děliče tvoří dva odpory R_1 , R_2 , na které je připojeno celkové napětí U_1 . Zmenšené napětí U_2 se odebrává z odporu R_2 .

Velikost napětí na odbočce děliče bez odběru proudu se výpočte podle rovnice:

$$U_2 = U_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad [\text{V}; \text{V}, \Omega].$$

Odebíráme-li z děliče proud I_2 , bude jeho výstupní napětí menší než napětí naprázdno (tj. bez odběru proudu). Velikost napětí U_2 na odbočce děliče pro odběr proudu I_2 vypočteme z rovnice:

$$U_2 = R_2 \frac{U_1 - R_1 I_2}{R_1 + R_2} \quad [\text{V}; \Omega, \text{A}].$$

Zapojení děliče s vyznačenými obvodovými veličinami při odběru proudu I_2 je na obr. 11b.

Příklad. – Na dělič napětí sestavený z odporů $R_1 = R_2 = 30 \text{ k}\Omega$ je připojeno napětí $U_1 = 200 \text{ V}$. Máme vypočítat napětí na odbočce děliče

- bez připojené zátěže, tj. bez odběru proudu,
- s připojenou zátěží odebírající proud $I_2 = 2 \text{ mA}$.

Nejprve určíme napětí na odbočce děliče bez odběru proudu:

$$U_2 = U_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 200 \frac{30 \cdot 10^3}{30 \cdot 10^3 + 30 \cdot 10^3} = 100 \text{ V}.$$

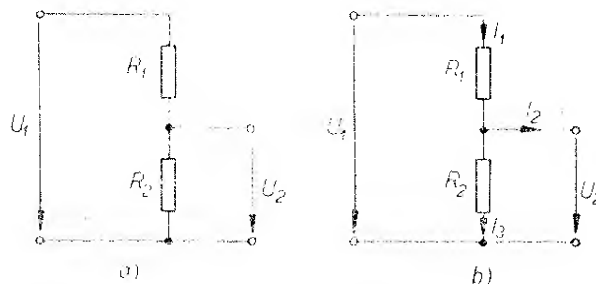
Napětí, které bude na odbočce děliče při odběru proudu 2 mA , vypočteme takto:

$$U_2 = R_2 \frac{U_1 - R_1 I_2}{R_1 + R_2} = 30 \cdot 10^3 \cdot \frac{200 - 30 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{30 \cdot 10^3 + 30 \cdot 10^3} = 70 \text{ V}.$$

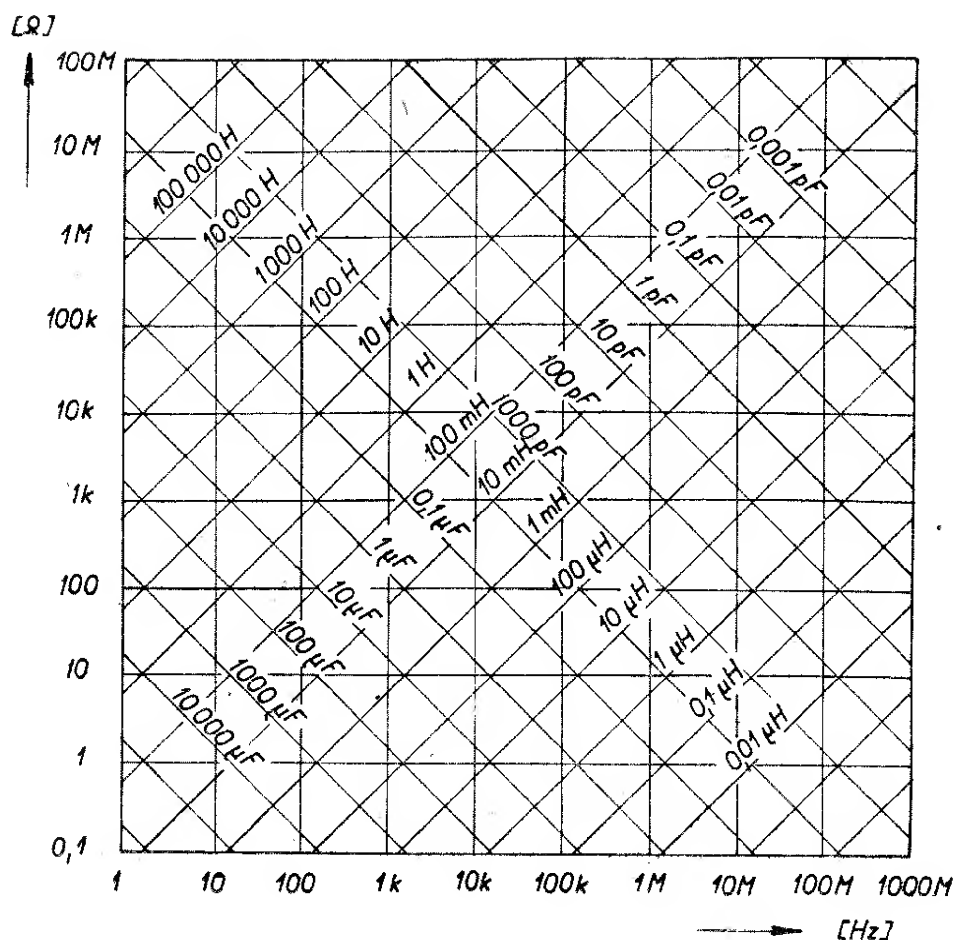
Kondenzátory

Základní vlastností kondenzátorů je kapacita C , tj. schopnost jímát elektrické náboje. Jednotkou kapacity kondenzátorů je farad F ; v běžné praxi se však setkáváme výhradně s mnohem menšími kapacitami, které udáváme v mikrofaradech μF (10^{-6} F) nebo pikofaradech pF (10^{-12} F).

Kapacitu kondenzátorů vypočítáváme v radioamatérské praxi jen ojediněle, protože kondenzátory pro všechna běžná použití se kupují hotové; proto se výpočtem nebudeme zabývat.



Obr. 11.



Obr. 12a.

Kapacitní odpor

Kondenzátor se chová různě v obvodech stejnosměrného elektrického proudu a v obvodech střídavého elektrického proudu. Základní rozdíl spočívá v tom, že klade průtoku těchto proudů různý odpor.

Průtoku stejnosměrného proudu klade kondenzátor nekonečně velký odpor. To znamená, že kondenzátor stejnosměrný proud v ustáleném stavu prakticky nepropouští.

Střídavý elektrický proud může kondenzátorem protékat, kondenzátor však klade jeho průtoku určitý odpor, který označujeme jako kapacitní odpor nebo kapacitní reaktanci X_C . Velikost tohoto odporu závisí na kmitočtu střídavého proudu a na velikosti kapacity kondenzátoru. Vypočte se ze vztahu:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad [\Omega; \text{Hz}, \text{F}].$$

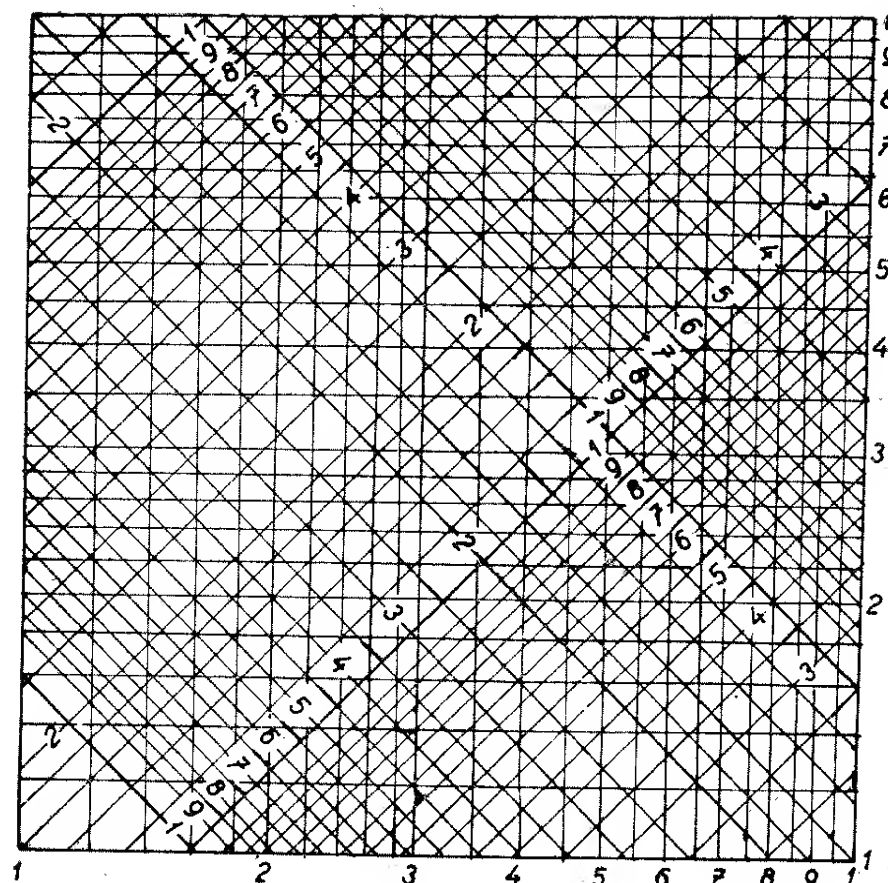
Další charakteristickou vlastností kondenzátorů je, že napětí a proud kondenzátoru nejsou ve fázi (jako je tomu u odporů), ale že proud protékající kondenzátorem fázově předbíhá napětí na kondenzátoru o 90° .

Ze základních vlastností vyplývá i typická možnost praktického využití kondenzátorů. Vzhledem k tomu, že kondenzátory nepropouštějí stejnosměrný proud, zatímco střídavý jimi protéká, můžeme je výhodně použít k oddělení střídavého proudu od stejnosměrného v těch obvodech, kde se oba druhy proudu vyskytují.

Příklad. – Jak velkou kapacitní reaktanci představuje kondenzátor o kapacitě $C = 2 \mu\text{F}$ pro střídavý proud o kmitočtu $f = 50 \text{ Hz}$?

Ze vztahu pro kapacitní reaktanci vypočteme:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = \pm 1590 \Omega.$$



Obr. 12b.

Přibližně lze zjistit kapacitní reaktanci kondenzátorů z nomogramů na obr. 12a, b. Nomogram na obr. 12b je vlastně jedním zvětšeným políčkem nomogramu z obr. 12a, který nám pomůže určit řád výsledku. Práci s těmito nomogramy si opět ukážeme na příkladě, který jsme právě řešili výpočtem (tj. pro $C = 2 \mu\text{F}$, $f = 50 \text{ Hz}$).

Náš kmitočet spadá na obr. 12a do druhého sloupce zleva (mezi 10 a 100 Hz). Čára odpovídající kapacitě $2 \mu\text{F}$ leží v pátém políčku tohoto sloupce zdola. Tomuto políčku odpovídá reaktance mezi $1 \text{ k}\Omega$ a $10 \text{ k}\Omega$. Nyní přejdeme k nomogramu na obr. 12b, který budeme považovat za zvětšené páté políčko nomogramu 12a. Na vodorovné stupnici vyhledáme číslici 5, která v našem případě odpovídá kmitočtu 50 Hz. Po svislici v tomto bodě postupujeme vzhůru až k šikmé čáře, směřující zleva nahoře vpravo dolů a označené číslicí 2 – to odpovídá $2 \mu\text{F}$. Odtud pokračujeme vodorovně ke svislé stupnici, kde čteme přibližně 1,59. Z prvního nomogramu víme, že výsledek

bude v našem případě mezi $1 \text{ k}\Omega$ a $10 \text{ k}\Omega$, takže reaktance kondenzátoru musí být přibližně 1590Ω .

Oba nomogramy lze použít i pro rychlé určení indukční reaktance cívek a rezonančního kmitočtu paralelních nebo sériových rezonančních obvodů LC. O tom se ještě zmíníme v dalších kapitolách.

Řazení kondenzátorů

Kondenzátory lze – stejně jako odpory – spojovat do série a paralelně.

Výslednou kapacitu několika kondenzátorů spojených paralelně vypočteme podle vztahu:

$$C_v = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots$$

K výpočtu výsledné hodnoty sériově zapojených kondenzátorů slouží vztah:

$$\frac{1}{C_v} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

Do obou vztahů musíme dosazovat kapacity jednotlivých kondenzátorů vždy ve stejných jednotkách, tedy např. všechny v pF nebo všechny v μF .

Pro rychlé určení výsledné kapacity dvou kondenzátorů spojených do série lze použít nomogram na obr. 9.

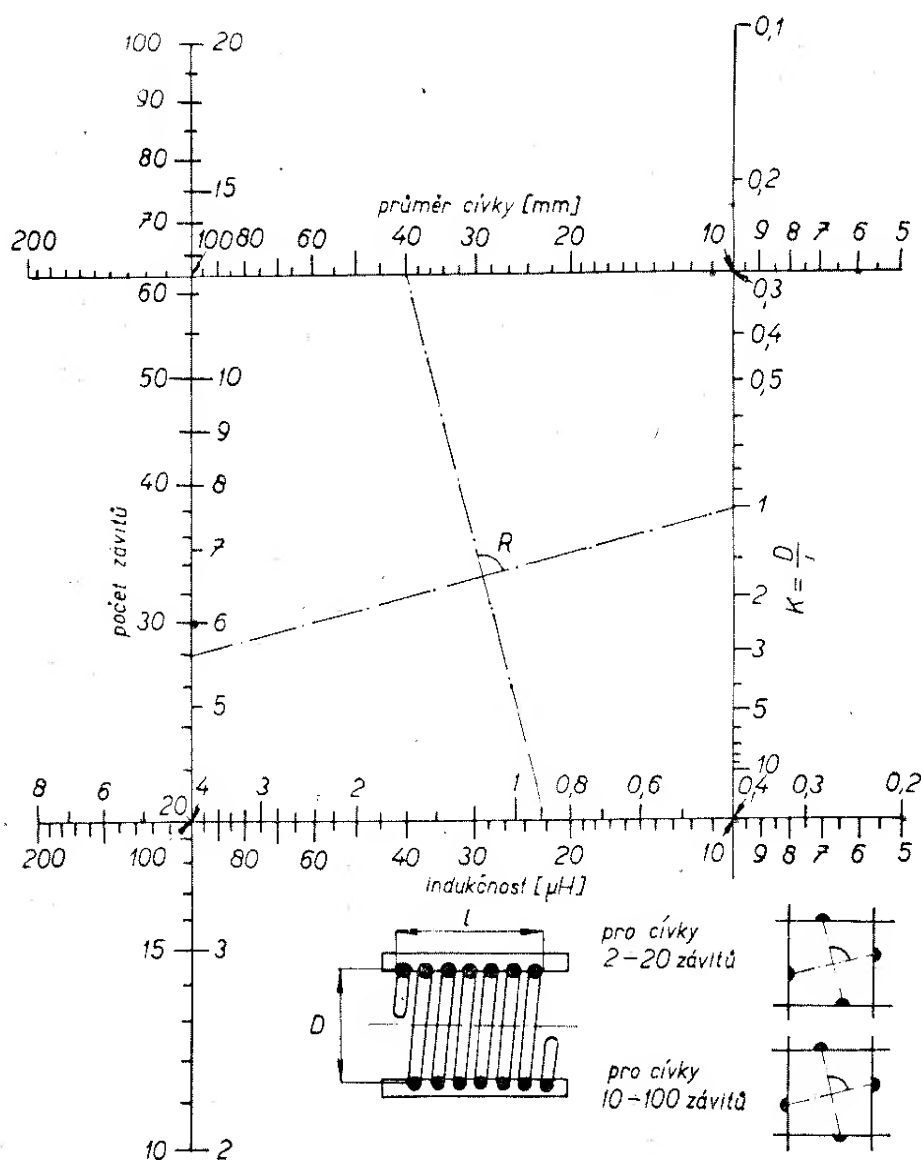
Cívky

Základní vlastností cívky je jejich vlastní indukčnost L . Jednotkou indukčnosti je henry H; tisícinou henry je milihenry mH, miliontinou mikrohenry μH . Podle provedení se cívky dělí do dvou velkých skupin: na cívky bez jádra (tzv. vzduchové) a na cívky s jádrem.

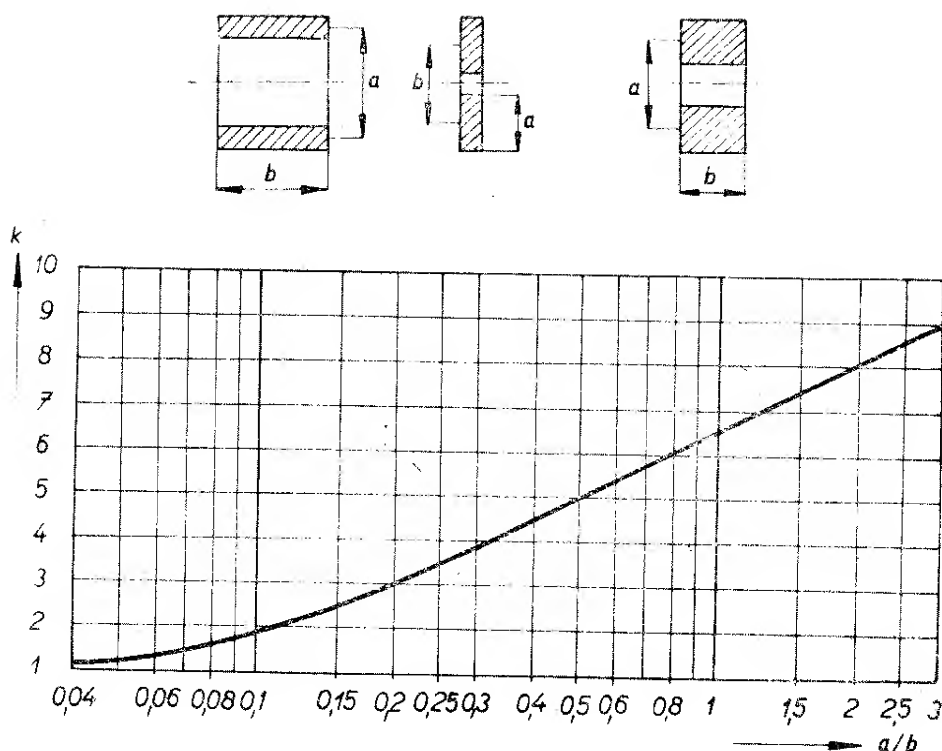
Cívky se sice většinou dají koupit hotové, je možné je však často poměrně snadno zhotovit i amatérsky. Vysvětlíme si proto zásady výpočtu některých jednoduchých cívky.

Výpočet cívky

Jednovrstvové vzduchové cívky navrhne rychle a přesně pomocí nomogramu na obr. 13. Pro práci s tímto nomogramem si nakreslíme na kousek průhledného papíru dvě protínající se kolmice, jakýsi kříž. Ten položíme na nomogram tak, aby jedna přímka spojovala průměr cívky, kterému přísluší horní vodorovná stupnice, s požadovanou indukčností cívky, které přísluší spodní



Obr. 13.



vodorovná stupnice. Kříž nakreslený na průhledném papíře posuneme tak, aby jeho druhá přímka protnula pravou svislou stupnici v bodě k , který předem určíme podle rozměrů cívky (dělením průměru cívky délkou jejího vinutí). Na levé svislé stupnici nám druhý konec přímky vytne hledaný počet závitů cívky.

V nomogramu je zakreslen číselný příklad, jak lze určit potřebný počet závitů pro jednovrstvou cívku o průměru 40 mm s požadovanou indukčností $L = 22 \mu\text{H}$. Délku vinutí jsme zvolili rovněž 40 mm, takže činitel $k = \frac{40}{40} = 1$.

Kříž nakreslený na průsvitném papíře přiložíme na nomogram tak, že jedna přímka spojuje průměr 40 mm s indukčností $22 \mu\text{H}$ a jeden konec druhé přímky leží na číslici $k = 1$ na pravé svislé stupnici. Druhý konec této přímky ukáže na levé svislé stupnici potřebný počet závitů cívky, v našem případě 28.

Jednovrstvovými vzduchovými cívkami lze dosáhnout jen malé indukčnosti několika desítek mikrohenry. Cívky s větší indukčností musí mít více závitů, zpravidla tolik, že je nelze umístit do jedné vrstvy a přitom zachovat přijatelné rozměry cívky. Závity takových cívek se musí vinout do několika vrstev.

Několikvrstvé vzduchové cívky různých válcových tvarů lze přibližně vypočítat ze vzorců:

$$L = \frac{k \cdot n^2 \cdot D^2 \cdot l}{1000} \quad [\mu\text{H}; \text{cm}],$$

$$n = \sqrt{\frac{1000 \cdot L}{k \cdot D^2 \cdot l}} \quad [—; \mu\text{H}, \text{cm}]$$

a pomocí diagramu na obr. 14. Pomocí tohoto diagramu zjistíme z daných rozměrů cívky činitele k a ten spolu s ostatními veličinami dosadíme do příslušného vztahu – buďto pro počet závitů cívky n , nebo u dané cívky pro její indukčnost L .

Zde je třeba připomenout, že uvedené vztahy pro válcové cívky dávají jen přibližné výsledky. Při výrobě cívek je proto velmi vhodné kontrolovat jejich indukčnost měřením. Hodí se k tomu samozřejmě továrně vyráběné měřiče indukčnosti, které vám dovolí použít např. v radioklubech Svazarmu, lze však použít i přístroje vyrobené amatérsky. Např. grid-dip-metrem zjistíme indukčnost měřené cívky tak, že k ní paralelně připojíme vhodný kondenzátor známé kapacity a změříme rezonanční knutočet takto vytvořeného obvodu. Indukčnost cívky potom vypočteme

z Thomsonova vztahu (viz kapitulu o oscilátorech) ze známé kapacity kondenzátoru a rezonančního kmitočtu zjištěného měřením apod.

Také při výrobě křížově vinutých cívek na navíječce je třeba indukčnost cívky ověřovat měřením.

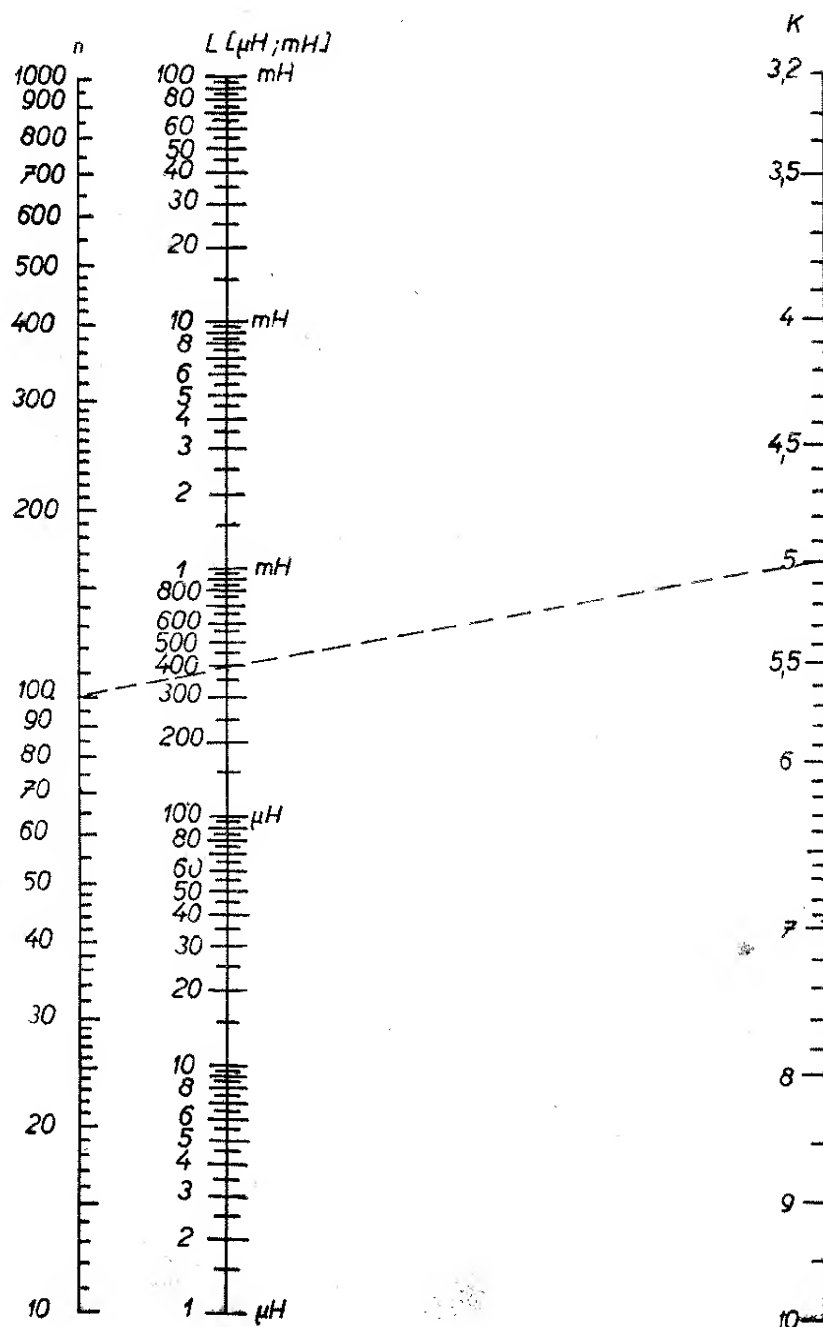
Cívky se železovými jádry počítáme podle jednoduchého vztahu. Potřebujeme-li, aby cívka měla indukčnost L , vypočteme potřebný počet závitů z rovnice:

$$n = k \cdot \sqrt{L} \quad [—; \mu\text{H}];$$

k je konstanta daná materiálem a tvarem použitého jádra – udává ji výrobce jader. Pro neznámé jádro můžeme velikost činitele K zjistit tak, že na jádro navineme 100 závitů drátu, změříme indukčnost L takto vyrobené cívky a činitel k vypočteme z upraveného posledního vzorce:

$$k = \frac{n}{\sqrt{L}}.$$

Příklad. – Na jádro s $k = 5$ chceme navinout cívku, která by měla indukčnost



Obr. 15

$L = 400 \mu\text{H}$. Kolik bude mít závitů?
Dosazením vypočteme:

$$n = k \cdot \sqrt{L} = 5 \cdot \sqrt{400} = 100 \text{ závitů.}$$

Rychlý výpočet umožňuje nomogram na obr. 15. Ukážeme si jeho použití na stejném číselném příkladě. Na pravé svislé stupnici vyhledáme bod $k = 5$ a spojíme jej s bodem $L = 400 \mu\text{H}$ na prostřední stupnici. Spojnici prodloužíme až k levé svislé stupnici, kde nám přímka vytne hledaný počet závitů $n = 100$.

Induktivní odpor

Cívka klade různě velký odpor průtoku stejnosměrného a střídavého elektrického proudu. Průtoku stejnosměrného proudu klade jen činný odpor vodiče, jímž je navinuta, tj. odpor daný vztahem známým již z kapitoly o odporech:

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

Průtoku střídavého proudu klade cívka tzv. induktivní odpor (induktivní reaktanci) X_L . Velikost tohoto odporu závisí na kmitočtu střídavého proudu a na velikosti vlastní indukčnosti cívky L . Vypočte se podle vztahu:

$$X_L = 2\pi fL \quad [\Omega; \text{Hz}, \text{H}].$$

Napětí na cívce předbíhá proud o 90° , tedy obráceně než u kondenzátoru, kde proud předbíhá o 90° napětí.

Příklad. – Jak velkou induktivní reaktanci představuje cívka o indukčnosti $L = 100 \mu\text{H}$ pro střídavý proud o kmitočtu 450 kHz?

Ze vztahu pro induktivní reaktanci vypočteme:

$$X_L = 2\pi fL = 2 \cdot 3,14 \cdot 450 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 282,6 \Omega.$$

K rychlému přibližnému výpočtu induktivní reaktance je vhodný nomogram na obr. 12a, b. Jeho použití si ukážeme opět na našem číselném příkladě. K hrubému výpočtu nám poslouží nomogram 12a. Náš kmitočet 450 kHz spadá do šestého sloupce zleva (mezi

100 kHz a 1 MHz) tohoto nomogramu. Čára odpovídající naší indukčnosti $L = 100 \mu\text{H}$ leží ve čtvrtém políčku tohoto sloupce, počítáno zdola. Tomuto políčku odpovídá reaktance mezi 100 Ω a 1 k Ω . V dalším výpočtu pokračujeme na nomogramu 12b, na němž je vlastně zvětšené naše políčko z obr. 12a. Na vodorovné stupnici vyhledáme číslici 4,5, která odpovídá kmitočtu 450 kHz. Po svislici v tomto bodě pokračujeme vzhůru až k šikmé čáře směřující zprava dolů a označené číslicí 1 – což odpovídá indukčnosti 100 μH . Odtud pokračujeme vodorovně ke svislé stupnici, kde čteme přibližně 2,8. Protože již víme, že reaktance musí být mezi 100 Ω a 1 k Ω , bude cívka tvořit pro proud o kmitočtu 450 kHz induktivní reaktanci přibližně 280 Ω . Vidíme, že výsledek se shoduje s předcházejícím výpočtem.

Řazení cívek

Stejně jako odpory a kondenzátory, můžeme i cívky spojovat do série a paralelně (nesmějí však být vázány indukčně).

Výslednou indukčnost několika cívek spojených do série vypočteme ze vztahu:

$$L_v = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots$$

K výpočtu paralelně spojených cívek slouží vztah:

$$\frac{1}{L_v} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots$$

Do obou vztahů musíme dosazovat všechny indukčnosti ve stejných jednotkách, tedy např. všechny v mH, H nebo μH .

Pro rychlé určení výsledné indukčnosti dvou paralelně spojených cívek lze použít nomogram na obr. 9.

Elektronky a tranzistory

Nejdůležitějšími součástkami radioelektronických přístrojů jsou elektronky. Vakuovým elektronkám vyrostl v posledních letech přinejmenším rovnocenný

konkurent – tranzistor a s ním se objevila i celá řada dalších polovodičových součástek.

Vlivem technického vývoje, který přinesl nejprve vakuové elektronky a teprve po poměrně dlouhé době v širším rozsahu polovodičové součástky, hledělo se a stále ještě se hledí na tyto dvě skupiny součástek odděleně, izolovaně. Takový přístup je však dnes již nevhodující, neboť mezi běžnými typy vakuových elektronek a polovodičových součástek je mnoho funkčních i aplikačních podobností. V souladu s pojetím moderní radioelektroniky i zásadami moderní pedagogiky je účelné ukázat jasně souvislosti (tj. shody i rozdíly) mezi těmito součástkami a zahrnout je společně do skupiny aktivních elektronických součástek. Tohoto pojetí se přidržíme v dalším výkladu.

Nastavení pracovního režimu elektronek

Základním předpokladem funkce zesilovacích prvků, ať již vakuových elektronek nebo tranzistorů, je připojení takových stejnosměrných napětí na jejich elektrody, která zajistí funkční schopnost těchto součástek a nastaví jejich nejvhodnější pracovní režim (pracovní bod).

U vakuových elektronek je především třeba vyžhavit katodu, připojit stejnosměrné napětí mezi anodu a katodu elektronky tak, aby anoda byla proti katodě kladnější a připojit předepsaná stejnosměrná napětí zpravidla tak, aby mřížka byla proti katodě zápornější, aby měla tzv. záporné mřížkové předpětí.

U tranzistorů znamená nastavení jejich pracovního režimu v podstatě připojení

stejnosměrných napětí tak, aby emitorový přechod tranzistoru byl zapojen v propustném směru a kolektorový přechod v nepropustném směru. Nutnost žhavení u tranzistorů odpadá.

Teprve tehdy, je-li nastaven pracovní režim zesilovacího prvku, lze jej použít ke zpracování signálu, např. k zesilování.

Obvody pro nastavení pracovního režimu elektronek

Tyto obvody můžeme rozdělit na tři části: na obvody pro vyžhavení katod elektronek, na obvody pro napájení anod a stínících mřížek a konečně na obvody pro napájení řídicích mřížek. Probereme si jednotlivé obvody postupně.

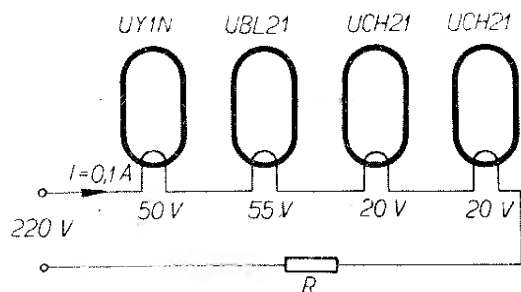
Žhavicí obvody elektronek

Katody elektronek jsou žhaveny přímo nebo nepřímo. Přímožhavené elektronky, jejichž katody je třeba žhavit stejnosměrným proudem, se používají velmi málo; vytlačily je většinou tranzistory. Elektronky žhavené nepřímo je možné žhavit střídavým i stejnosměrným proudem; stejnosměrné žhavení se však vyskytuje zřídka, obvykle není-li k dispozici střídavý proud, nebo také u elektronek, za nimiž následují stupně s vysokým zesílením.

Většina elektronických přístrojů potřebuje ke své funkci několik elektronek. Jejich žhavicí vlákna se zapojují v zásadě dvěma způsoby: v sérii nebo paralelně.

Sériové zapojení žhavicích vláken je naznačeno na obr. 16. Žhavicí vlákna jednotlivých elektronek jsou spojena do série a připojena přímo na síť střídavého proudu, tj. zpravidla 220 V. Součet žhavicích napětí všech elektronek bývá menší než je napětí sítě, proto se do série se žhavicími vlákny zapojuje ještě předřadný odpor R . Jeho velikost je dána velikostí napětí, které potřebujeme srazit, a žhavicím proudem elektronek.

O výpočtu předřadného odporu jsme již hovořili v kapitole o odporech; výpočet odporu R ze zapojení na obr. 16 si ukážeme na příkladě. Součet žhavicích napětí čtyř použitých elektronek série U je v našem případě $50 + 55 + 20 +$



Obr. 16.

$$22 \cdot \frac{4}{67} R_K$$

+ 20 = 145 V. Napětí, které musí odpor R srazit, je $\Delta U = 220 - 145 = 75$ V. Žhavicí proud použitých elektronek je $I = 0,1$ A. Velikost předřadného odporu vypočteme podle vztahu:

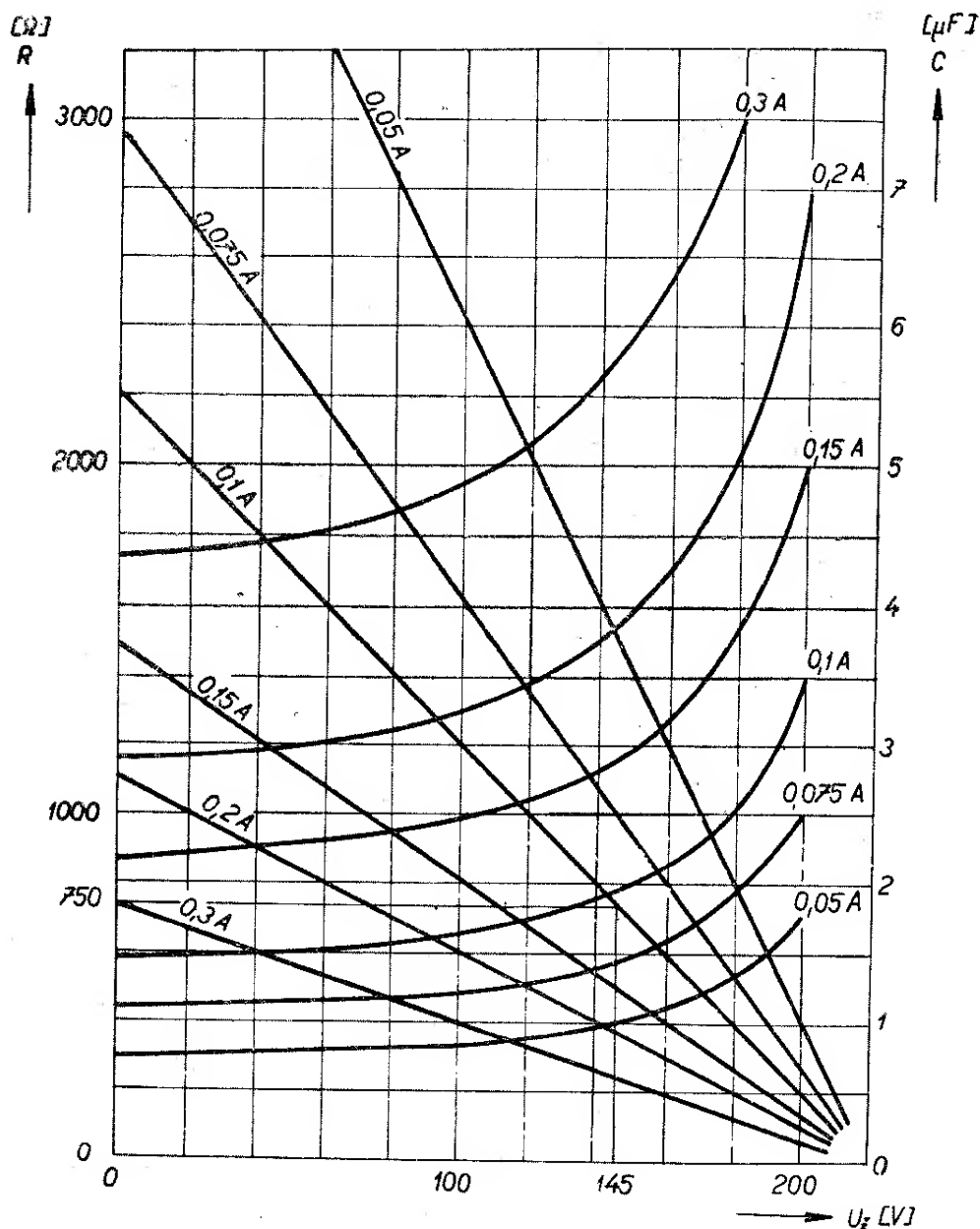
$$R = \frac{\Delta U}{I} = \frac{75}{0,1} = 750 \Omega.$$

Odpor musí být dimenzován na výkon:

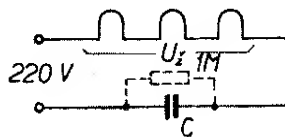
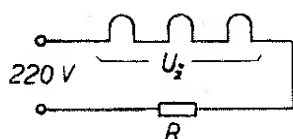
$$P = \Delta U \cdot I = 75 \cdot 0,1 = 7,5 \text{ W}.$$

Tento výkon se na odporu R mění v teplo.

Výpočet předřadného odporu bude ještě rychlejší, použijeme-li nomogram na obr. 17. Nomogram je určen pro napájecí napětí 220 V. Při zjišťování velikosti předřadného odporu postupujeme tak, že na vodorovné ose nomogramu vyhledáme bod odpovídající součtu žhavicích napětí všech sériově zapojených elektronek; v našem případě to bylo 145 V. V tomto bodě vztyčíme kolmici, až protne



Obr. 17.



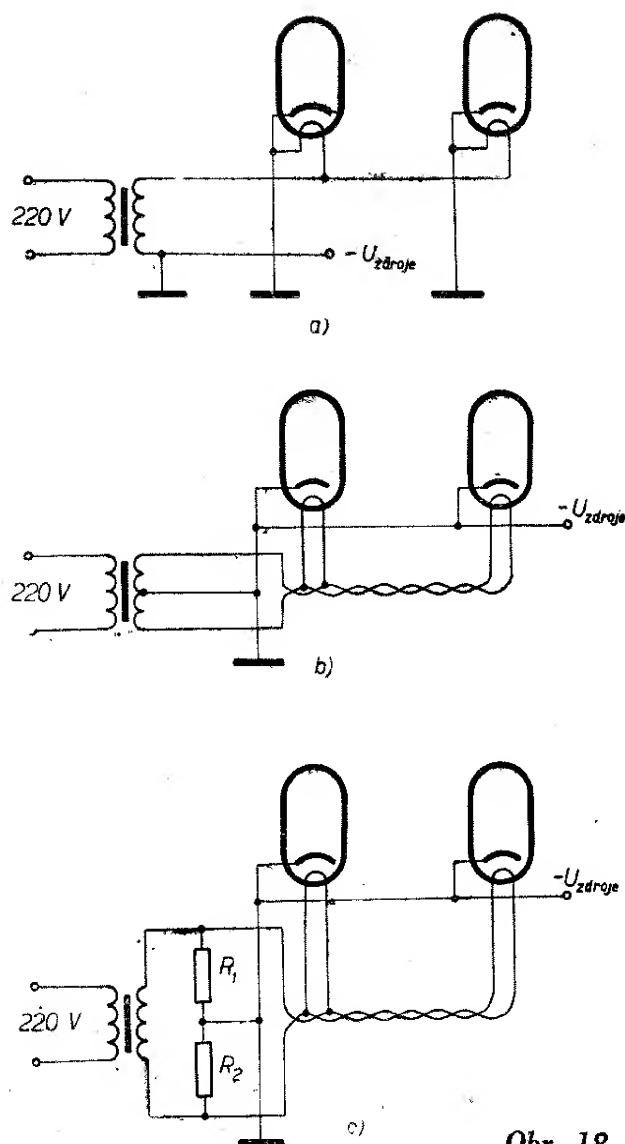
přímku příslušného žhavicího proudu, tj. v našem případě 0,1 A. Pak pokračujeme vodorovně vlevo až na svislou stupnici, kde čteme velikost předřadného odporu R , v našem případě 750 Ω .

Předřadný odpor, který je použitelný pro stejnosměrný i střídavý proud, můžeme nahradit kondenzátorem určité kapacity, avšak jen při napájení střídavým proudem. Přitom se žádný výkon nemění v teplo jako při zařazení srážecího odporu, takže tento způsob srážení napětí je i úspornější. V univerzálních přijímačích tovární výroby se však zásadně používají jen srážecí odpory, aby přístroje bylo možné napájet i ze sítě stejnosměrného proudu. Potřebnou velikost srážecího kondenzátoru najdeme opět v nomogramu na obr. 17, kde je současně nakresleno i zapojení. Čárkovaně zakreslený odpor 1 M Ω slouží jen k vybití kondenzátoru po vypnutí. Postupujeme takto: na vodorovné ose vztyčíme opět kolmici v místě součtu žhavicích napětí všech elektronek a vedeme ji až ke křivce označené jmenovitým žhavicím proudem. Pak pokračujeme vodorovně vpravo, kde na svislé stupnici čteme přímo hledanou kapacitu.

Sériové zapojení žhavicích vláken elektronek je běžné např. v univerzálních rozhlasových přijímačích, téměř ve všech televizních přijímačích apod. Ve většině radioelektronických přístrojů se však žhavicí vlákna elektronek zapojují paralelně.

Paralelní zapojení žhavicích vláken se v praxi řeší např. způsoby naznačenými na obr. 18. Všechny elektronky musí mít stejně velké žhavicí napětí; toto napětí (nejčastěji 6,3 V) se získává z příslušného vinutí síťového transformátoru napájecího zdroje. Výpočet síťových transformátorů najdete v kapitole věnované napájecím zdrojům.

Zapojení žhavicích vláken podle obr. 18a se používá např. v zesilovačích s malým zesílením. Pro zmenšení indukce střídavého napětí ze žhavicích obvodů je jeden konec žhavicího vlákna spojen s katodou a se záporným pólem napájecího zdroje, který bývá obvykle připojen na kostru přístroje; to umožňuje udělat žhavicí rozvod ke všem elektronkám



Obr. 18.

jediným vodičem; druhý vodič nahrazuje kostra přístroje.

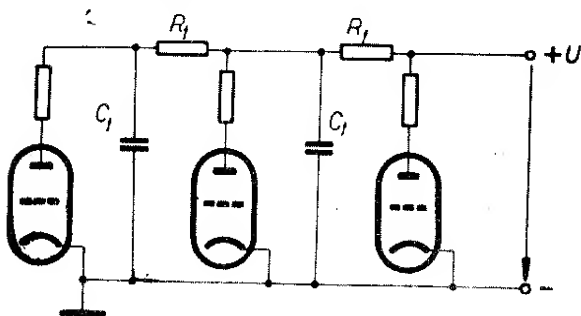
Tento rozvod však není vhodný pro zesilovače s velkým zesílením (řádově 1000), neboť zde již působí rušení indukci střídavého napětí. U takových zesilovačů je výhodnější vedení žhavicího proudu elektronek dvěma vodiči. Oba vodiče navzájem zkroutíme, aby se zmenšilo vyzařované elektrické i magnetické pole. Navíc spojíme záporný pól napájecího zdroje se středním vývodem žhavicího vinutí transformátoru (obr. 18b). Není-li střed žhavicího vinutí vyveden, použijeme zapojení s umělým středem, vytvořeným ze dvou odporů R_1 , R_2 . Tyto odpory bývají řádu desítek až stovek Ω (obr. 18c).

Obvody pro napájení anod a stínících mřížek elektronek.

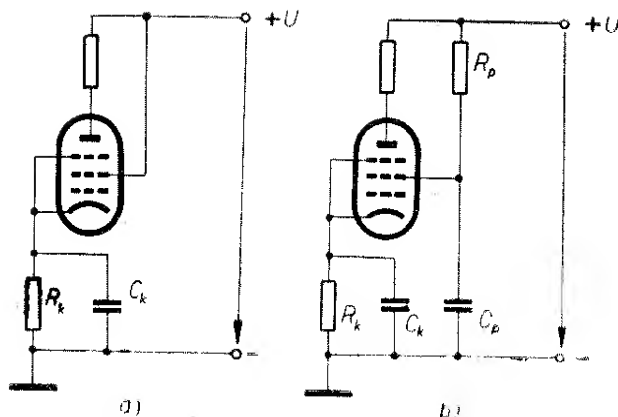
U běžných elektronických přístrojů se anodové obvody všech elektronek napájejí ze společného zdroje stejnosměrného napětí – nejčastěji síťového usměrňovače. Jen u speciálních přístrojů (např. u zesilovačů velkých výkonů apod.) se někdy používá několik oddělených zdrojů, neboť potřebné anodové napětí výkonových stupňů bývá značné (tisíce voltů) a jeho snižování na hodnoty potřebné pro elektronky ostatních stupňů přes odpory je neekonomické. Způsob napájení anodových obvodů je naznačen na obr. 19. Mezi jednotlivými stupni jsou zapojeny oddělovací filtry, složené z odporů R_f a kondenzátorů C_f . Jejich úkolem je zabránit nežádoucí vazbě mezi stupni přístroje. Při napájení anodových obvodů z jediného zdroje vytváří totiž střídavá složka anodového proudu jednotlivých elektronek (zpracovávaný signál) na vnitřním odporu napájecího zdroje úbytek napětí, který se objeví na elektronkách ostatních stupňů. Takto vznikající nežádoucí vazba jednotlivých stupňů přes napájecí zdroj může nepříznivě ovlivnit vlastnosti celého přístroje a může způsobit i jeho rozkmitání. Velikost odporu R_f se volí obvykle v rozmezí jedné pětiny až desetiny anodového odporu. Minimální kapacita

$$C_f \doteq \frac{20 \div 50}{f_{\min} \cdot R_f} \quad [\mu\text{F}; -, \text{Hz}, \text{M}\Omega].$$

Také stínící mřížky elektronek se napájejí obvykle ze společného zdroje stejnosměrného napětí, tj. ze stejného zdroje jako anody. Několik různých zapojení obvodů pro napájení stínících mřížek elektronek je na obr. 20. Pokud



Obr. 19.



Obr. 20.

je v anodovém obvodu elektronky zapojen jen malý odpor pro stejnosměrný proud a napětí stínící mřížky elektronky má být přibližně stejně velké jako anodové, zapojuje se stínící mřížka přímo na kladný pól napájecího zdroje (obráz. 20a).

Pokud má být napětí stínící mřížky menší než anodové, připojuje se mřížka ke zdroji přes předřadný (srážecí) odpor R_p (obráz. 20b.). Odpor R_k a kondenzátor C_k zajišťují správné předpětí řídicí mřížky; budeme o nich ještě hovořit v další kapitole. Velikost předřadného odporu R_p vypočítáme podle rovnice:

$$R_p = \frac{U - U_{g2} - U_k}{I_{g2}} \quad [\Omega; \text{V}, \text{V}, \text{V}, \text{A}],$$

kde U je napětí napájecího zdroje,

U_{g2} požadované stejnosměrné napětí stínící mřížky,

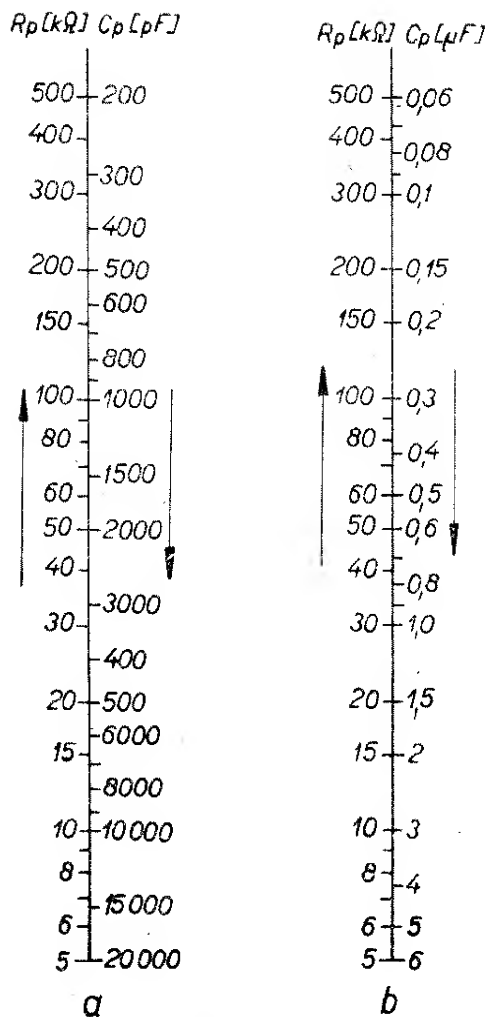
U_k úbytek napětí vznikající na odporu R_k ,

I_{g2} proud stínící mřížky.

Pokud není v obvodu zapojen odpor R_k , nevzniká samozřejmě ani úbytek napětí a člen U_k v rovnici prostě nebude.

Příklad. – Elektronka EF86 je součástí přístroje, jehož napájecí zdroj má napětí $U = 250 \text{ V}$. Anodový proud elektronky $I_a = 3 \text{ mA}$, napětí stínící mřížky $U_{g2} = 140 \text{ V}$, proud stínící mřížky $I_{g2} = 0,6 \text{ mA}$. Katodový odpor $R_k = 1 \text{ k}\Omega$. Naším úkolem je vypočítat potřebnou velikost předřadného odporu R_p v obvodu stínící mřížky.

Nejprve vypočteme úbytek napětí, který vzniká na odporu R_k tím, že jím



Obr. 21.

protéká celkový stejnosměrný proud elektronky. Tento proud tvoří v našem případě jednak anodový proud, jednak proud stínící mřížky; jeho velikost tedy bude $I_k = I_a + I_{g2} = 3 + 0,6 = 3,6 \text{ mA}$. Úbytek napětí vznikající na katodovém odporu vypočteme podle Ohmova zákona:

$$U_k = R_k \cdot I_k = 1000 \cdot 0,0036 = 3,6 \text{ V.}$$

Nyní již můžeme vypočítat potřebnou velikost předřadného odporu R_p :

$$R_p = \frac{U - U_{g2} - U_k}{I_{g2}} = \frac{250 - 140 - 3,6}{0,0006} = \frac{106,4}{0,0006} \doteq 177 \text{ k}\Omega.$$

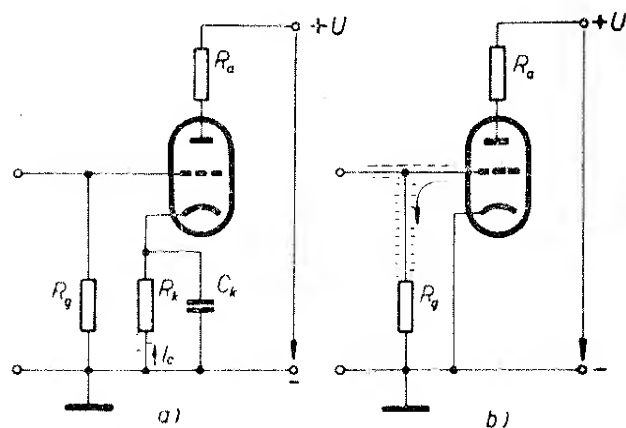
Pokud by v zapojení nebyl odpor R_k , nebyl by v rovnici člen U_k a předřadný odpor by vyšel poněkud větší, přibližně 183 kΩ.

Nyní ještě k funkci kondenzátoru C_p . Za běžného provozu elektronka zpracovává (zesiluje) střídavý signál. Ten se připojuje na její řídicí mřížku a ovládá anodový proud elektronky. Odpořem R_p protéká kromě stejnosměrné složky proudu druhé mřížky i střídavá složka proudu, kolísající v rytmu zesilovaného signálu. Na R_p vzniká tedy nejen úbytek stejnosměrného napětí, ale také úbytek střídavého napětí. Toto střídavé napětí má opačnou fázi než napětí signálu přiváděného na řídicí mřížku elektronky a protože je vlastně mezi řídicí mřížkou elektronky a její katodou (napájecí zdroj představuje pro střídavý proud nepatrný odpor), působí zmenšování anodového proudu a zmenšuje tedy i zesílení elektronky.

Tomuto nežádoucímu poklesu zesílení zabráníme zapojením kondenzátoru C_p mezi stínící mřížku elektronky a uzemnění (katodu). Pokud má dostatečně velkou kapacitu, představuje kondenzátor pro střídavou složku proudu druhé mřížky prakticky zkrat. Střídavá složka proudu se tak svádí mimo odpor R_p k zemi; na odporu R_p už nebude vznikat úbytek střídavého napětí a nedojde tedy k poklesu zesílení elektronky.

Velikost kapacity kondenzátoru C_p volíme v praxi zpravidla tak, aby jeho kapacitní odpor X_{Cp} byl $\frac{R}{3}$ až $\frac{R}{5}$, kde

R představuje výsledný odpor paralelní dvojice odporů R_p a R_{ekv} (R_{ekv} je vnitřní odpor stínící mřížky elektronky; jeho velikost bývá u přijímacích elektronek řádu desítek kiloohmů). X_{Cp} posuzujeme



Obr. 22.

z hlediska nejnižšího kmitočtu signálu přenášeného elektronkou. Minimální kapacitu kondenzátoru C_p pro vf nebo nf zesilovač je možné stanovit podle nomogramu na obr. 21 (a – vf zesilovače, b – nf zesilovače).

Obvody pro napájení řídicích mřížek elektronek

Řídicí mřížka elektronky pracuje obvykle s tzv. záporným mřížkovým předpětím, tj. připojuje se na ni určité záporné napětí (vzhledem ke katodě). Při dané velikosti stejnosměrného anodového napětí elektronky a napětí stínící mřížky nastavuje se pracovní bod elektronky právě vhodnou volbou předpětí řídicí mřížky.

Obvody pro napájení řídicích mřížek mohou být řešeny různě; dva nejpoužívanější způsoby jsou znázorněny na obr. 22. Na obr. 22a vzniká mřížkové předpětí na odporu R_k , který je zapojen mezi katodu elektronky a uzemnění. Mřížka elektronky je spojena s uzemněním (společný vodič celého přístroje) přes mřížkový svodový odpor R_g .

Katodovým odporem R_k protéká celkový proud elektronky, tj. proud všech jejích kladných elektrod. U triody je to jen anodový proud, u pentody anodový proud a proud stínící mřížky. Průtokem tohoto proudu vzniká na odporu R_k úbytek napětí, o který je katoda elektronky kladnější proti zemi (víme, že elektrony se pohybují z katody elektronky směrem k její anodě. Elektrony přicházející z vnějšího obvodu ke katodě mají v cestě odpor R_k , tj. překážku, na jejímž spodním konci se nahromadí; spodní konec odporu R_k je tedy zápornější než jeho horní konec – katoda; řečeno obráceně, je katoda proti spodnímu konci odporu R_k , tj. zemi, kladnější).

Řídicí mřížka elektronky je spojena se společným vodičem (zemí) přes odpor R_g , jímž protéká jen nepatrný proud řídicí mřížky a na němž tedy vzniká jen malý úbytek napětí. Je-li společný vodič oproti katodě zápornější o úbytek napětí vznikající na R_k , je proti katodě zápornější i řídicí mřížka, protože je spojena se společným vodičem.

Velikost záporného předpětí řídicí mřížky elektronky je dána úbytkem napětí, který vzniká průtokem celkového proudu elektronky I_c katodovým odporem R_k ($U_g = I_c \cdot R_k$). Potřebnou hodnotu katodového odporu R_k vypočteme snadno z rovnice:

$$R_k = \frac{U_g}{I_c} \quad [\Omega; V, A].$$

Příklad. – Elektronka PL82 má mít mřížkové předpětí $U_g = -10,5$ V. Její anodový proud $I_a = 53$ mA, proud stínící mřížky $I_{g2} = 10$ mA. Celkový proud I_c je tedy $53 + 10 = 63$ mA. Potřebnou velikost katodového odporu vypočteme ze vztahu:

$$R_k = \frac{U_g}{I_c} = \frac{10,5}{0,063} \doteq 166 \Omega.$$

Paralelně ke katodovému odporu R_k je zapojen kondenzátor C_k . Jeho úkolem je zajistit, aby předpětí mřížky získané úbytkem napětí na R_k bylo stálé, aby nekolísalo v rytmu střídavé složky proudu elektronky. Pokud by např. v určitém okamžiku byla na řídicí mřížce elektronky kladná půlvlna signálu, zvětšil by se proud protékající elektronkou a tím i úbytek napětí na katodovém odporu. Mřížkové předpětí by se stalo zápornějším a způsobilo by pokles anodového proudu, tedy i zmenšení zesílení.

Kapacita kondenzátoru C_k musí být tak velká, aby kondenzátor představoval pro střídavou složku elektronky nepatrný odpor, prakticky zkrat. Střídavá složka proudu pak protéká kondenzátorem C_k a odporem R_k prochází jen stejnosměrná složka proudu – mřížkové předpětí je stálé.

Kapacita katodového kondenzátoru C_k se v praxi volí zpravidla tak, aby jeho kapacitní odpor X_{Ck} byl alespoň tři- až pětkrát menší než odpor R_k i pro nejnižší kmitočty elektronkou zpracovávaných signálů. Výpočet C_k tedy vychází z podmínky, aby

$$X_{Ck} < \frac{R_k}{3} \text{ až } \frac{R_k}{5} \quad [\Omega].$$

Výpočet usnadní nomogram na obr. 12a, b pomocí kterého rychle nalezneme

pro žádanou velikost X_{Ck} potřebnou kapacitu C_k katodového kondenzátoru.

Jiný způsob pro vytváření mřížkového předpětí je naznačen na obr. 22b. V tomto případě vzniká předpětí řídicí mřížky průtokem mřížkového proudu odporem R_g . Mřížkový proud zde tvoří malý počet elektronů, které se zachytí na řídicí mřížce elektronky a odtékají přes odpor R_g zpět ke katodě. Na odporu R_g přitom vzniká malý úbytek napětí, ne větší než asi 1 V.

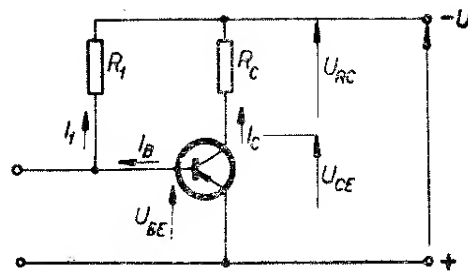
Vzhledem k tomu, že proud řídicí mřížky je nepatrný, musí se volit i pro získání malého předpětí poměrně velké hodnoty mřížkového svodového odporu R_g . Za běžných podmínek bývá hodnota tohoto odporu kolem 10 MΩ.

Zapojení na obr. 22 zahrnují všechna opatření, potřebná pro nastavení pracovního režimu vakuové elektronky. Teprve jsou-li pracovní podmínky elektronky takto nastaveny, může elektronka plnit svou funkci, např. zpracovávat signály pro zesilování. Zapojení na obr. 22 tedy představují jednoduché zesilovací stupně. Vhodným spojováním takových zesilovacích stupňů vytváříme několikastupňové zesilovače; těmi se budeme ještě zabývat v dalších kapitolách.

Obvody pro nastavení pracovního režimu tranzistorů

V této kapitole si probereme základní obvody pro nastavení pracovního režimu tranzistorů. Podobně jako jsme se u vakuových elektronek omezili na základní zapojení se společnou katodou, omezíme se i u tranzistorů na jejich základní zapojení, tj. zapojení se společným emitorem.

U tranzistorů se zpravidla nemůžeme spokojit s nastavením pracovního bodu, ale musíme zajišťovat i jeho stabilizaci. U vakuových elektronek lze předpokládat, že jednou nastavený pracovní bod se za běžných podmínek, tj. i při určitém kolísání okolní teploty, nijak podstatně nezmění. U tranzistorů takový předpoklad většinou neplatí, neboť i poměrně malé změny okolní teploty mají velký vliv na pracovní režim tranzistoru. Kromě značné teplotní závislosti musíme



Obr. 23a.

u tranzistorů vycházet i z jejich výrobní tolerance, která je u běžných současných tranzistorů značná.

K nastavení pracovního režimu tranzistorů se používají různé obvody, z nichž nejběžnější si probereme.

Zapojení s předřadným odporem

Základní zapojení pro nastavení pracovního bodu tranzistoru typu p-n-p s předřadným odporem je na obr. 23a. U tohoto typu tranzistorů je požadavek zapojení emitorového přechodu v propustném a kolektorového přechodu v nepropustném směru splněn tehdy, je-li emitor polarizován vzhledem k bázi kladně a kolektor vzhledem k bázi záporně. Zapojení obvodů pro nastavení pracovního bodu tranzistorů typu n-p-n jsou stejná jako u tranzistorů typu p-n-p, jen polarita napětí musí být opačná.

Všimněme si základního zapojení tranzistoru typu p-n-p na obr. 23a. Emitor je zapojen na kladný pól zdroje, báze je připojena přes předřadný odpor R_1 na záporný pól zdroje. Emitor je tedy polarizován vzhledem k bázi kladně, jak to správná funkce tranzistorů p-n-p vyžaduje. Kolektor je zapojen na záporný pól zdroje; sem je připojena i báze, ovšem přes předřadný odpor R_1 , na němž vzniká průtokem proudu I_1 úbytek napětí, o který je báze kladnější (tj. méně záporná) než kolektor. I zde je tedy splněn požadavek správné funkce tranzistorů typu p-n-p – kolektor je vzhledem k bázi polarizován záporně.

K nastavení pracovního bodu potřebujeme v tomto zapojení napětí napájecího zdroje:

$$U = U_{CE} + U_{RC} = U_{CE} + I_C R_C.$$

Potřebnou velikost předřadného odporu vypočteme ze vztahu:

$$R_1 = \frac{U - U_{BE}}{I_B} \quad (\Omega; V, V, A).$$

Obvodové veličiny U_{CE} , U_{BE} , I_C a I_B určují zvolený pracovní bod. To znamená, že vypočítáváme potřebné napětí zdroje a potřebnou velikost předřadného odporu R_1 tak, aby tranzistor pracoval právě s požadovanými hodnotami těchto obvodových veličin, tedy v žádaném pracovním bodě.

Jak jsme již uvedli, čelíme nežádoucímu kolísání jednou nastaveného pracovního bodu určitými stabilizačními opatřeními.

Stabilizační účinek obvodu posuzujeme pomocí tzv. činitele stabilizace S , který je definován jako poměr změny celkového kolektorového proudu ΔI_C ke změně zbytkového proudu kolektor – báze ΔI_{CB0} , tj.

$$S = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CB0}}.$$

Činitel stabilizace zapojení podle obr. 23a je dán vztahem:

$$S = \frac{1}{1 - a},$$

kde a je proudový zesilovací činitel tranzistoru v zapojení se společnou bází.

Stabilizační účinek zapojení je tím lepší, čím menší je činitel stabilizace S . V našem zapojení je činitel stabilizace mnohem větší než 1; původní malé změny ΔI_{CB0} se zesilovacím účinkem tranzistoru značně zvětší. Stabilita pracovního bodu v tomto zapojení je tedy velmi špatná, pracovní bod v tomto zapojení není dostatečně stabilizován.

Příklad. – Pracovní bod tranzistoru má být: $U_{CE} = 6,5 \text{ V}$; $I_C = 3,7 \text{ mA}$; $I_B = 120 \mu\text{A}$; $U_{BE} = 0,25 \text{ V}$. Odpor v kolektorovém obvodu tranzistoru je $R_C = 1,5 \text{ k}\Omega$.

Potřebné napětí zdroje bude:

$$U = U_{CE} + I_C R_C = 6,5 + 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^3 = 12 \text{ V}.$$

Potřebná velikost předřadného odporu R_1 bude:

$$R_1 = \frac{U - U_{BE}}{I_B} = \frac{12 - 0,25}{0,12 \cdot 10^{-3}} \doteq 98 \text{ k}\Omega.$$

Činitel stabilizace daného zapojení při $a = 0,98$ je:

$$S = \frac{1}{1 - a} = \frac{1}{1 - 0,98} = 50.$$

Zapojení s předřadným a stabilizačním odporem v obvodu emitoru

Toto zapojení je na obr. 23b. Liší se od předcházejícího jen tím, že mezi emitor tranzistoru a společný vodič je zařazen tzv. emitorový stabilizační odpor R_E . Podobně jako katodový odpor u vakuové elektronky, bývá i emitorový odpor R_E u tranzistoru překlenut kondenzátorem. Kondenzátor C_E má tvořit nepatrný odpor i pro nejnižší kmitočty signálů zpracovávaných tranzistorem.

Pro nastavení pracovního bodu je v tomto zapojení potřebné napětí zdroje:

$$U = I_C R_C + U_{CE} + I_E + I_E R_E.$$

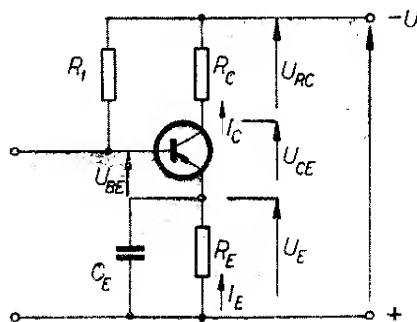
Potřebnou velikost předřadného odporu R_1 vypočteme podle vztahu

$$R_1 = \frac{U - U_{BE} - I_E R_E}{I_B}.$$

Činitel stabilizace S vypočteme z rovnice

$$S = \frac{R_1 + R_E}{R_1 (1 - a) + R_E}.$$

Při volbě velikosti odporu R_E musíme přistoupit na určitý kompromis. Pro



Obr. 23b

dobrou stabilizační účinnost je výhodné volit R_E pokud možno velký. Velká hodnota tohoto odporu však znamená větší ztráty ve stejnosměrném obvodu; vzhledem k tomu, že v praxi bývá dána hodnota napětí zdroje U , nesmí úbytek napětí na emitorovém odporu překročit určitou velikost. Často se volí velikost odporu R_E v rozmezí $R_E = (0,05 \text{ až } 0,3) R_C$.

Příklad. – Pracovní bod tranzistoru má být: $U_{CE} = 6,5 \text{ V}$; $I_C = 3,7 \text{ mA}$; $I_B = 120 \mu\text{A}$; $U_{BE} = 0,25 \text{ V}$. Odpor v kolektorovém obvodu tranzistoru je $R_C = 1,5 \text{ k}\Omega$. Emitorový stabilizační odpor volíme $R_E = 0,2 R_C = 0,2 \cdot 1,5 = 0,3 \text{ k}\Omega = 300 \Omega$. Proudový zesilovací činitel použitého tranzistoru je $\alpha = 0,98$.

Potřebné napětí zdroje bude:

$$U = I_C R_C + U_{CE} + I_E R_E = 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^3 + 6,5 + (3,7 + 0,12) \cdot 10^{-3} \cdot 300 \doteq 13 \text{ V}.$$

Za proud I_E jsme dosadili $I_B + I_C$.

Velikost předřadného odporu R_1 vypočteme ze vztahu:

$$R_1 = \frac{U - U_{BE} - (I_B + I_C) R_E}{I_B} = \frac{13 - 0,25 - (3,7 + 0,12) \cdot 300 \cdot 10^{-3}}{0,12 \cdot 10^{-3}} \doteq 98 \text{ k}\Omega.$$

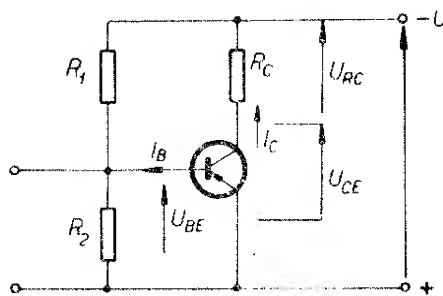
Konečně určíme ještě velikost činitele stabilizace:

$$S = \frac{R_1 + R_E}{R_1 (1 - \alpha) + R_E} = \frac{98 \cdot 10^3 + 300}{98 \cdot 10^3 (1 - 0,98) + 300} \doteq 43.$$

Kdybychom zvolili větší emitorový stabilizační odpor, např. $R_E = 1000 \Omega$, muselo by být napětí zdroje téměř 16 V, činitel stabilizace by však byl lepší, $S \doteq 33$.

Zapojení s děličem napětí v obvodu báze tranzistoru

Zapojení s děličem napětí v obvodu báze bez zvláštních opatření pro stabilizaci pracovního bodu je na obr. 24.



Obr. 24.

Velikost potřebného napětí napájecího zdroje určíme podle vztahu:

$$U = U_{CE} + I_C R_C.$$

Velikost odporů děliče napětí R_1, R_2 vypočteme ze vztahu pro jejich poměr:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{U - U_{BE}}{U_{BE} + I_B R_2}.$$

Poslední vztah vyjadřuje poměr obou odporů děliče napětí, celkový odpor děliče však neurčuje. Celkový odpor děliče volíme tak, aby jeho vlastní proud byl několikrát větší než proud báze tranzistoru I_B . S ohledem na zatížení napájecího zdroje však nemůžeme celkový odpor děliče příliš zmenšovat. Při volbě velikosti odporu R_2 se vyžaduje, aby příliš netlumil předcházející stupeň.

Příklad. – Pracovní bod tranzistoru má být $U_{CE} = 6,5 \text{ V}$; $I_C = 3,7 \text{ mA}$; $I_B = 120 \mu\text{A}$; $U_{BE} = 0,25 \text{ V}$. Kolektorový odpor $R_C = 1,5 \text{ k}\Omega$.

Nejprve určíme potřebnou velikost napětí napájecího zdroje:

$$U = U_{CE} + I_C R_C = 6,5 + 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^3 = 12 \text{ V}.$$

Pak si zvolíme velikost odporu R_2 , např. $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$. Dále vypočteme poměr odporů děliče:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{U - U_{BE}}{U_{BE} + I_B R_2} = \frac{12 - 0,25}{0,25 + 120 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^3} = 13,8.$$

Z vypočteného poměru R_1 k R_2 již snadno určíme velikost odporu R_1 jako:

$$R_1 = 13,8R_2 = 13,8 \cdot 5 = 69 \text{ k}\Omega.$$

Zapojení s děličem napětí v obvodu báze a s emitorovým stabilizačním odporem

V předcházejícím zapojení nebyla zahrnuta v podstatě žádná opatření pro stabilizaci pracovního bodu tranzistoru. Pro zlepšení stabilizace pracovního bodu zapojujeme do emitorového obvodu odpor R_E . Dospějeme tak k velmi často používanému zapojení pro nastavení i stabilizaci pracovního bodu tranzistoru (obr. 25).

Velikost potřebného napětí napájecího zdroje určíme z rovnice:

$$U = I_C R_C + U_{CE} + I_E R_E.$$

Pro poměr odporů děliče napětí platí vztah:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{U - U_{BE} - I_E R_E}{U_{BE} + I_E R_E + I_B R_2}.$$

Pro volbu celkového odporu děliče a odporu R_2 platí totéž, co bylo řečeno u předcházejícího zapojení.

Činitel stabilizace zapojení je dán vztahem:

$$S = \frac{R_{1,2} + R_E}{R_{1,2}(1 - \alpha) + R_E},$$

kde $R_{1,2}$ je výsledný odpor paralelní dvojice R_1, R_2 (tyto dva odpory jsou zapojeny vlastně paralelně, protože odpor napájecího zdroje je velmi malý):

$$R_{1,2} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$

Příklad. – Máme nastavit pracovní bod tranzistoru $U_{CE} = 6,5 \text{ V}$; $I_C = 3,7 \text{ mA}$; $I_B = 120 \mu\text{A}$; $U_{BE} = 0,25 \text{ V}$. Kolektorový odpor $R_C = 1,5 \text{ k}\Omega$, emitorový stabilizační odpor zvolíme $R_E = 300 \Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$.

Nejprve určíme potřebnou velikost napětí napájecího zdroje:

$$U = I_C R_C + U_{CE} + I_E R_E = 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot$$

$$1,5 \cdot 10^3 + 6,5 + (3,7 + 0,12) \cdot 10^{-3} \cdot 300 \doteq 13 \text{ V}.$$

Dále určíme poměr odporů děliče napětí:

$$\begin{aligned} \frac{R_1}{R_2} &= \frac{U - U_{BE} - I_E R_E}{U_{BE} + I_E R_E + I_B R_2} = \\ &= \frac{13 - 0,25 - (3,7 + 0,12) \cdot 10^{-3} \cdot 300}{0,25 + (3,7 + 0,12) \cdot 10^{-3} \cdot 300 + 120 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} \doteq 4. \end{aligned}$$

Poměr odporů děliče vyšel tedy $\frac{R_1}{R_2} = 4$; z toho již snadno určíme potřebnou velikost R_1 :

$$R_1 = 4R_2 = 4 \cdot 10 = 40 \text{ k}\Omega.$$

V obou posledních vztazích jsme všude dosazovali za $I_E = I_C + I_B = (3,7 + 0,12) \cdot 10^{-3}$.

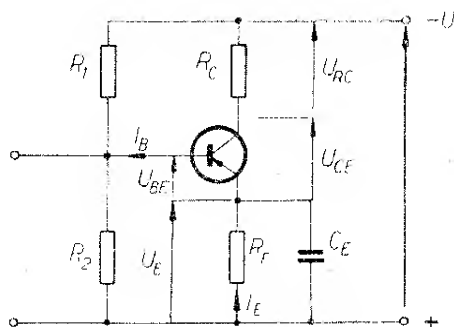
Činitele stabilizace našeho zapojení určíme takto:

$$\begin{aligned} S &= \frac{R_{1,2} + R_E}{R_{1,2}(1 - \alpha) + R_E} = \\ &= \frac{8 \cdot 10^3 + 300}{8 \cdot 10^3(1 - 0,98) + 300} = 18. \end{aligned}$$

Předem jsme si vypočetli:

$$\begin{aligned} R_{1,2} &= \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \\ &= \frac{40 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^3}{40 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3} = 8 \cdot 10^3 = 8 \text{ k}\Omega. \end{aligned}$$

Proudový zesilovací činitel tranzistoru jsme dosadili $\alpha = 0,98$.



Obr. 25.

Stabilizační činitel S je mnohem menší než v zapojení pro nastavení pracovního bodu pomocí předřadného odporu s použitím stejně velkého R_E . Stabilita pracovního bodu je tedy v tomto zapojení lepší.

Kondenzátor C_E , zapojený paralelně k emitorovému odporu, můžeme vypočítat podle přibližného vztahu:

$$C_E \doteq \frac{1}{2\pi f_s} \cdot \frac{h_{21e}}{R + h_{11e}},$$

kde je f_s spodní mezní přenášený kmitočet (přibližně nejnižší kmitočet střídavého signálu, který v daném zapojení tranzistor zpracovává),

h_{11e}, h_{21e} parametry tranzistoru,

R výsledný odpor paralelně spojených odporů R_1, R_2 , kolektorového odporu R_C a výstupního odporu tranzistoru předcházejícího stupně.

Zapojení na obr. 23b a 25 obsahují opatření potřebná jednak k nastavení pracovního bodu, jednak i ke stabilizaci nastaveného pracovního bodu tranzistoru. Tranzistory v těchto zapojeních jsou tedy připraveny pro zpracovávání střídavých signálů. Jsou to dvě základní, často používaná zapojení tranzistorových zesilovacích stupňů. Podobně jako u elektronkových zesilovačů vytváříme výkonnější zesilovače spojením několika zesilovacích stupňů za sebou.

K rychlému určení potřebných velikostí odporů děliče napětí R_1, R_2 ze zapojení na obr. 25 lze použít též nomogram na obr. 26a. Ukážeme si jeho použití na číselném příkladě (viz čárkovane zakreslený postup v nomogramu). Napětí napájecího zdroje je $U = 12$ V; napětí na emitoru $U_E = 2,25$ V; napětí na bázi $U_B = 2,5$ V (u germaniových tranzistorů se toto napětí může určit přibližně jako $U_E + 0,25$ V, u křemíkových přibližně jako $U_E + 0,7$ V). Proud děliče je $I_1 = 2$ mA; proud báze $I_B = 0,1$ mA (proud báze lze odhadnout přibližně jako $I_2 \doteq \frac{I_C}{\beta}$).

Nejprve určíme velikost odporu R_1 . Na levé svislé stupnici vyhledáme hodnotu $U - U_b = 12 - 2,5 = 9,5$ V. Z tohoto bodu vedeme spojnici k bodu $I_1 = 2$ mA na pravé svislé stupnici. Spojnice protne prostřední svislou stupnici v bodě R_1 . Na pravé svislé stupnici vyhledáme bod $I_1 - I_B = 2 - 0,1 = 1,9$ mA a vedeme z něj spojnici k bodu $U_B = 2,5$ V na levé svislé stupnici. Tato spojnice protne prostřední svislou stupnici v bodě $R_2 \doteq 1,3$ k Ω .

Také přibližnou velikost činitele stabilizace S můžeme rychle určit pomocí nomogramu. Nomogram na obr. 26b platí jak pro zapojení na obr. 23b, tak pro zapojení na obr. 25. Při zapojení podle obr. 23b vycházíme z hodnoty R_1 , kterou vyhledáme na pravé svislé stupnici nomogramu, při zapojení podle obr. 25 vyhledáme na této stupnici výsledný odpor $R_{1,2}$ paralelní dvojice odporů děliče napětí R_1 a R_2 .

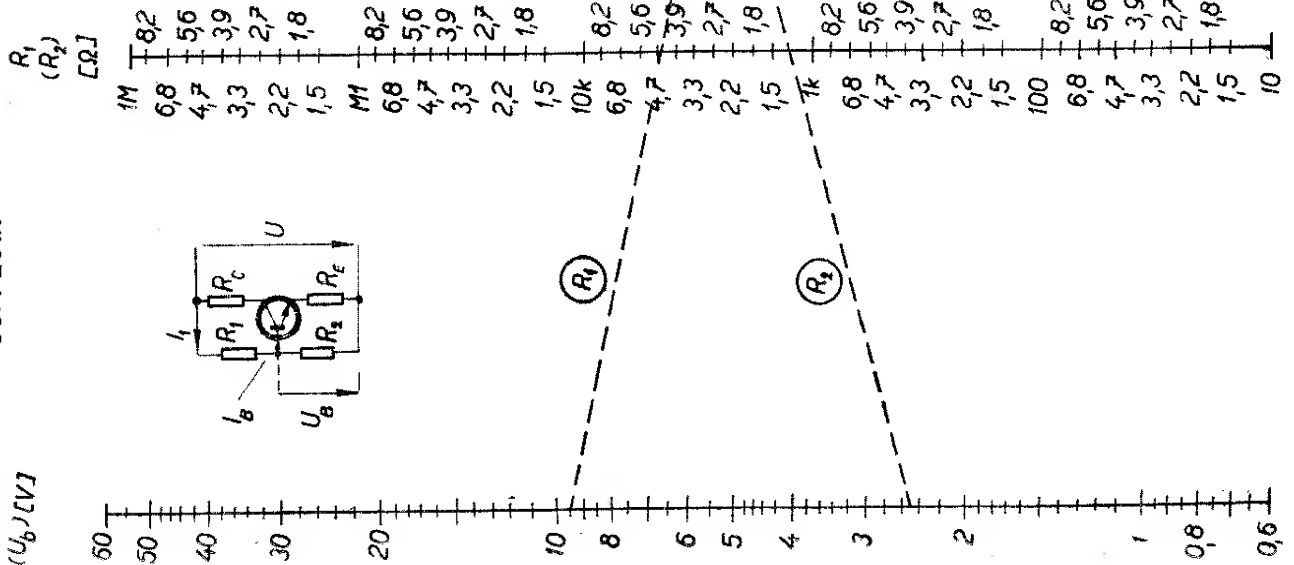
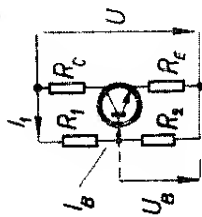
Ukažme si použití tohoto nomogramu opět na číselném příkladě. Emitorový odpor $R_E = 300$ Ω , odpory děliče (viz zapojení z obr. 25) jsou $R_1 = 40$ k Ω , $R_2 = 10$ k Ω , $\alpha = 0,98$. Nejprve určíme velikost odporu $R_{1,2}$ jako:

$$R_{1,2} = \frac{40 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^3}{40 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3} = 8 \cdot 10^3 = 8 \text{ k}\Omega.$$

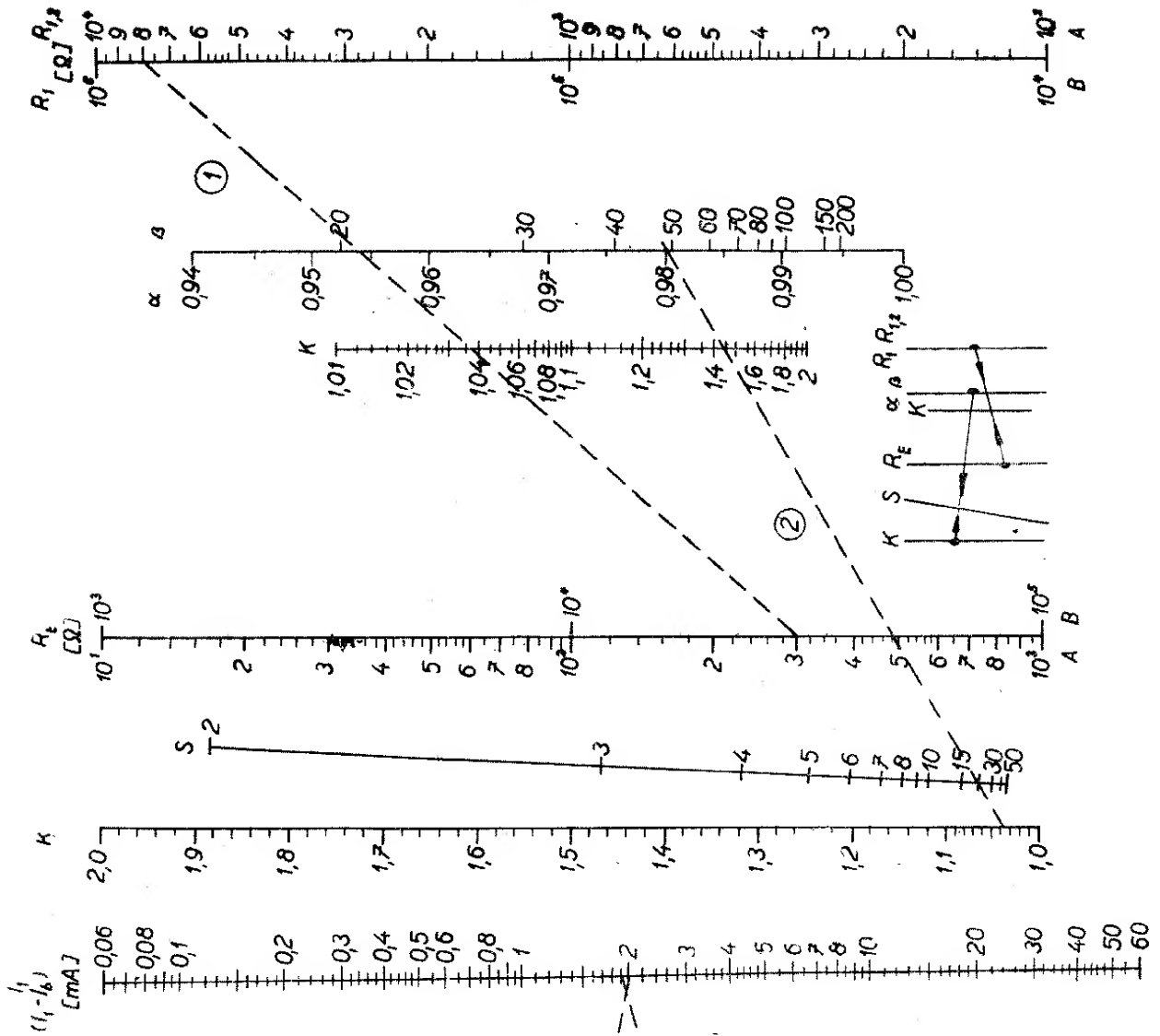
Tuto hodnotu vyhledáme na svislé stupnici po pravé straně nomogramu a spojíme ji s hodnotou $R_E = 300$ Ω na svislé stupnici označené R_E . Vzniklá spojnice (v zakresleném případě je v nomogramu označena číslicí 1) protne střední svislou stupnici označenou K v bodě 1,037. Pak vyhledáme bod $K = 1,037$ na stupnici po levé straně nomogramu a spojíme jej (spojnice 2) s bodem $\alpha = 0,98$ na stupnici označené α . Tato spojnice nám již vytne na šikmé stupnici označené S po levé straně nomogramu hledanou velikost činitele stabilizace. V našem příkladě bude přibližně $S \doteq 20$.

Obr. 26a.

$U-U_b$
(U_b) [V]



Obr. 26b.



Nejdůležitější radiotechnické obvody

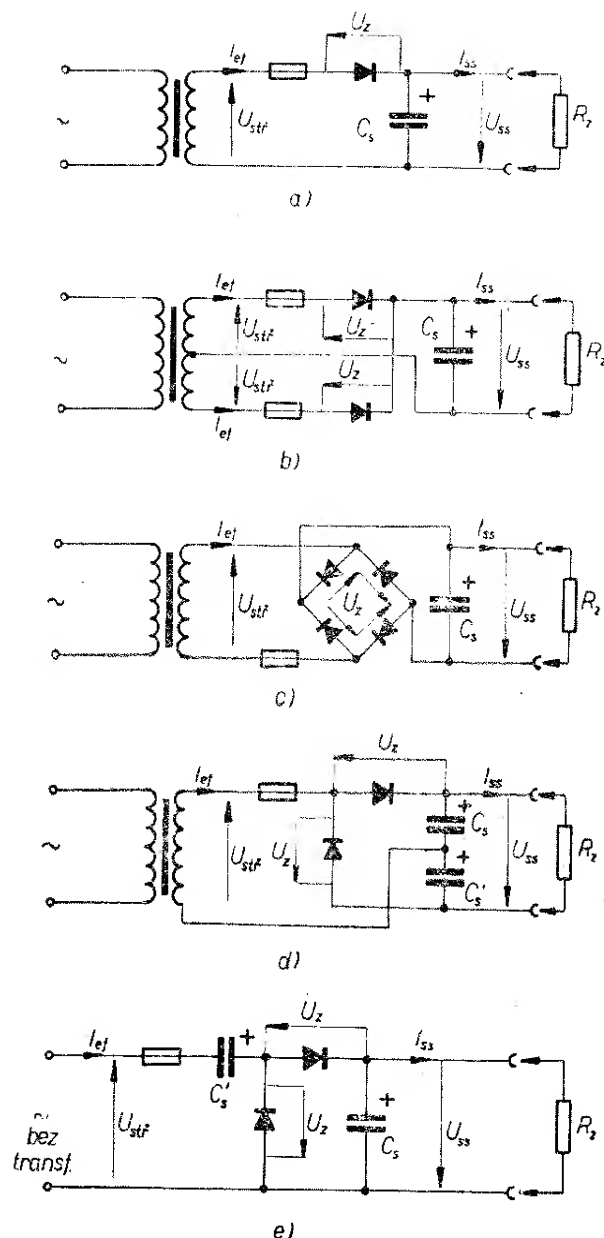
Zdroje stejnosměrného napětí

Všechny elektronické přístroje potřebují ke své činnosti zdroj stejnosměrného napětí. Základními zdroji stejnosměrného napětí jsou galvanické články a akumulátory. Protože u většiny přístrojů je napájení z baterií značně nepraktické, nahrazují se usměrňovači s vyhlazovacími filtry, v nichž se stejnosměrný proud získává přeměnou střídavého proudu z elektrovedné sítě.

Vzhledem k tomu, že až na přenosné tranzistorové přijímače jsou prakticky všechna elektronická zařízení napájena ze sítě střídavého proudu, je takový napájecí zdroj nejčastěji amatérsky konstruovaným přístrojem. Skládá se v podstatě ze tří hlavních částí; transformátoru, usměrňovacího ventilu a vyhlazovacího filtru. Úkolem transformátoru je dodávat usměrňovacím ventilům potřebné střídavé napětí a stejnosměrný výstup galvanicky oddělit od rozvodné sítě. Usměrňovací ventil nebo ventily propouští proud jen jedním směrem a brání průtoku proudu při změně polarity střídavého napětí indukovaného v sekundárním vinutí, takže na póly sběracího kondenzátoru přicházejí pulsy stejné polarity, jimiž se kondenzátor trvale nabíjí. Protože takto získané stejnosměrné napětí má značné zvlnění, vyhlazuje se ještě dále zvláštním filtrem složeným z tlumivky a dalšího kondenzátoru o velké kapacitě. Vyhlazovací filtr v podstatě odstraní zvlnění stejnosměrného napětí střídavou složkou nebo ji sníží tak, jak je v daném případě požadováno.

Usměrňovače

Základní a nejpoužívanější zapojení usměrňovačů se sběracím kondenzátorem jsou uvedena na obr. 27. V tabulce 3 najdeme údaje a vzorce potřebné pro návrh síťového napájecího zdroje. Zakreslené polovodičové diody jsou nejvhodnějšími a nejpoužívanějšími ventily



Obr. 27.

k usměrňování střídavého proudu v napájecích částech rozhlasových a televizních přijímačů, zesilovačů i jiných elektronických přístrojů. Jejich předností je vysoká účinnost, malé rozměry a jednoduchost zapojení i montáže, protože u nich odpadá žhavení katody, které je u vakuových diod nezbytné.

Při návrhu usměrňovače vycházíme z požadovaného stejnosměrného napětí a předpokládaného maximálního odběru stejnosměrného proudu. Obě veličiny jsou rozhodující pro zjištění velikosti střídavého napětí, které musí dodávat sekundární vinutí síťového transformátoru a výkonu, pro který je třeba napájecí

Tab. 3. Charakteristická data usměrňovačů

Zapojení viz obr. 27	Usměrnění	Špičkové usměrněné napětí U_{sp} [V]	Střední usměrněné napětí (bez C_g) U_{ss} [V]	Sítňová složka po usměr- nění f [Hz]	Špičkový proud diody I_{sp} [mA]	Efektivní proud v sekun- dar. vinutí I_{ef} [mA]	Začerné napětí diody U^z [V]	Min. kapacita sběračního kondenzátoru C_g [μ F]	Součinitel k
a	jednocestné	$1,4 U_{st}$	$0,45 U_{st}$	50	$7 I_{ss}$	$2,2 I_{ss}$	$3 U_{ss}$	$\frac{60 I_{ss}}{U_{ss}}$	265
b	dvoucestné	$1,4 U_{st}$	$0,9 U_{st}$	100	$3,5 I_{ss}$	$1,1 I_{ss}$	$3 U_{ss}$	$\frac{30 I_{ss}}{U_{ss}}$	530
c	můstkové	$1,4 U_{st}$	$0,9 U_{st}$	100	$3,5 I_{ss}$	$1,6 I_{ss}$	$1,5 U_{ss}$	$\frac{30 I_{ss}}{U_{ss}}$	530
d	Delonův zdvojovač napětí	$2,8 U_{st}$	$0,9 U_{st}$	100	$7 I_{ss}$	$3,2 I_{ss}$	$1,5 U_{ss}$	$\frac{125 I_{ss}}{U_{ss}}$	265
e	kaskádový zdvojovač napětí	$2,1 U_{st}$	—	50	$7 I_{ss}$	$3,2 I_{ss}$ (přímo ze sítě)	$2,8 U_{st}$	$\frac{136 I_{ss}}{U_{st}}$ (6 % zvln.)	—

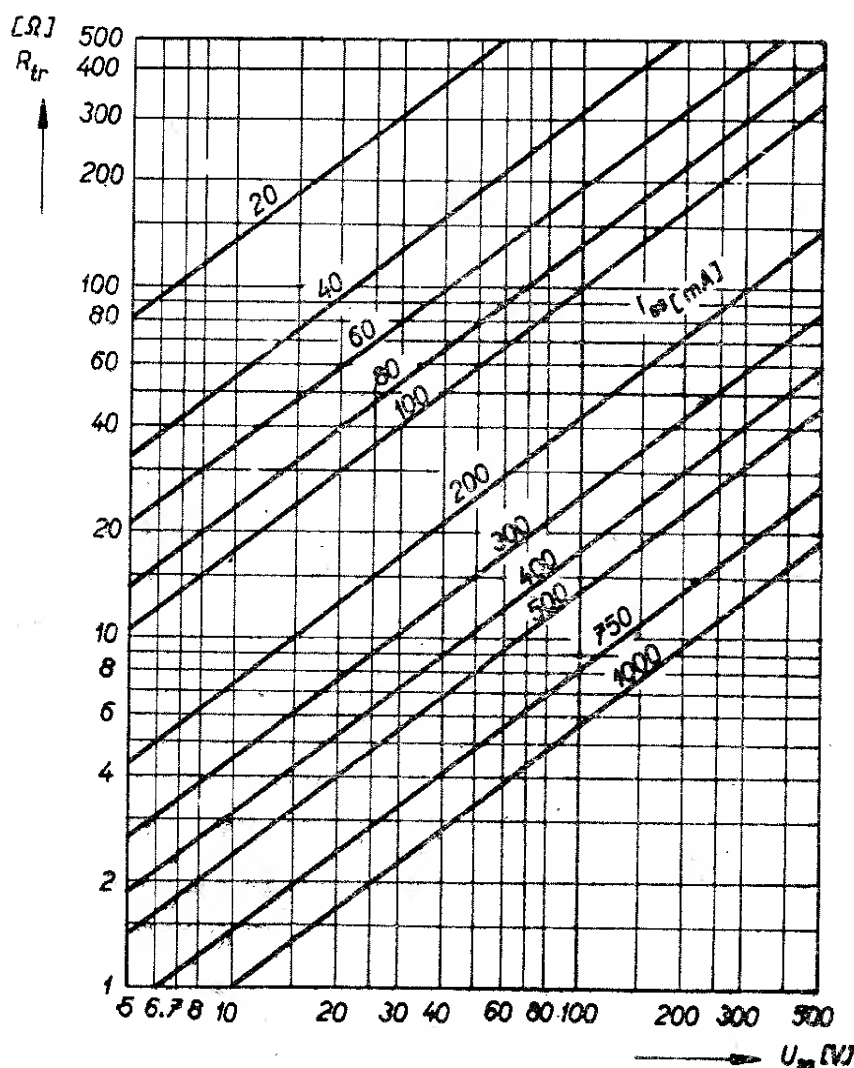
transformátor počítat. Dále se těmito údaji řídíme při volbě usměrňovacího ventilu a při výpočtu kapacity sběracího kondenzátoru.

Postupujeme takto:

1. Vybereme vhodný ventil. Přitom se řídíme jen maximálním proudem, který budeme ze zdroje odebírat a velikostí tzv. závěrného napětí, které se na diodě objevuje v okamžiku, kdy dioda prakticky nepropouští proud. Ventilem může být germaniová, křemíková, selenová nebo vakuová dioda, jejíž provozní hodnoty dovolují usměrňovat proud žádané velikosti, přičemž její závěrné napětí U_z není menší než trojnásobek U_{ss} pro jednocestný a dvoucestný usměrňovač a jedenapůlnásobek U_{ss} pro můstkový usměrňovač a zdvojovač napětí, jak je uvedeno v tab. 3. Tyto hodnoty je třeba dodržet, jinak hrozí nebezpečí proražení a zničení usměrňovací diody. U usměrňo-

vacích elektronek bývá závěrné napětí minimálně 700 V, většinou však kolem 1000 V, takže pro běžný usměrňovač, např. k rozhlasovému přijímači, nemusíme jeho velikost ani zjišťovat. Jiná situace je u polovodičových diod, mezi nimiž jsou typy se závěrným napětím přes 1000 V zatím vzácností. Není-li na trhu vhodná polovodičová dioda pro stanovené závěrné napětí, zapojujeme dvě i více diod s nižším závěrným napětím do série. V takovém případě však musíme ke každé diodě připojit paralelně odpor, aby závěrné napětí bylo rovnoměrně rozděleno na všechny diody. Velikost tohoto odporu se uvádí s ostatními hodnotami v tabulkách publikovaných výrobcem; u germaniových diod je tento odpor asi desetinou odporu v závěrném směru, u křemíkových dokonce přibližně jen jednou setinou.

2. Vypočteme přibližnou velikost stří-



Obr. 28.

$$36 \cdot \frac{4}{67} R_K$$

davého napětí na sekundárním vinutí transformátoru ze vzorce

$$U_{\text{stř}} \doteq m \cdot U_{\text{ss}} + \frac{I_{\text{ss}} \cdot R_{\text{f}}}{k}$$

[V; —, V, mA, Ω, —],

kde je $U_{\text{stř}}$ efektivní hodnota střídavého napětí sekundárního vinutí transformátoru,

m konstanta, která pro zapojení a , b , c je 0,75 a pro zapojení d 0,38 (viz obr. 27),

U_{ss} stejnosměrné napětí na sběracím kondenzátoru, které má zdroj dodávat,

I_{ss} maximální odebíraný stejnosměrný proud,

R_{f} odpor jedné usměrňovací cesty,

k součinitel uvedený v tabulce 3 u jednotlivých zapojení.

K tomu je třeba vysvětlit, že odpor jedné usměrňovací cesty představuje odpor ventilu v propustném směru (R_{v}), k němuž jsme připočetli odhadnutý odpor vinutí napájecího transformátoru (R_{tr}). Ten stanovíme jednoduchým způsobem z nomogramu na obr. 28. Postupujeme tak, že na vodorovné ose vyhledáme napětí U_{ss} , které máme dostat na sběracím kondenzátoru C_{s} , pak po příslušné kolmici jdeme až k přímce označené žádanou maximální velikostí proudu I_{ss} , který budeme ze zdroje odebírat. V jejich průsečíku na svislé stupnici vlevo čteme hledanou velikost odporu R_{tr} . Tento údaj však platí jen pro dvoucestný usměrňovač (zapojení b); pro můstkové zapojení jej musíme dělit číslem 1,2, pro jednocestné číslem 2 a pro zdvojovač napětí číslem 4,5. Tato teoreticky zjišťovaná veličina se blíží skutečné velikosti odporu vinutí, který představuje součet odporu sekundárního vinutí a přetransformovaného odporu primárního vinutí. U hotového transformátoru si můžeme ověřit velikost odporu R_{tr} z rovnice

$$R_{\text{tr}} = R_{\text{sek}} + p^2 \cdot R_{\text{prim}} \quad [\Omega; \Omega, —, \Omega],$$

kde je R_{sek} odpor sekundárního vinutí zjištěný měřením,

$$p \quad \text{poměr} \quad \frac{U_{\text{sek}}}{U_{\text{prim}}},$$

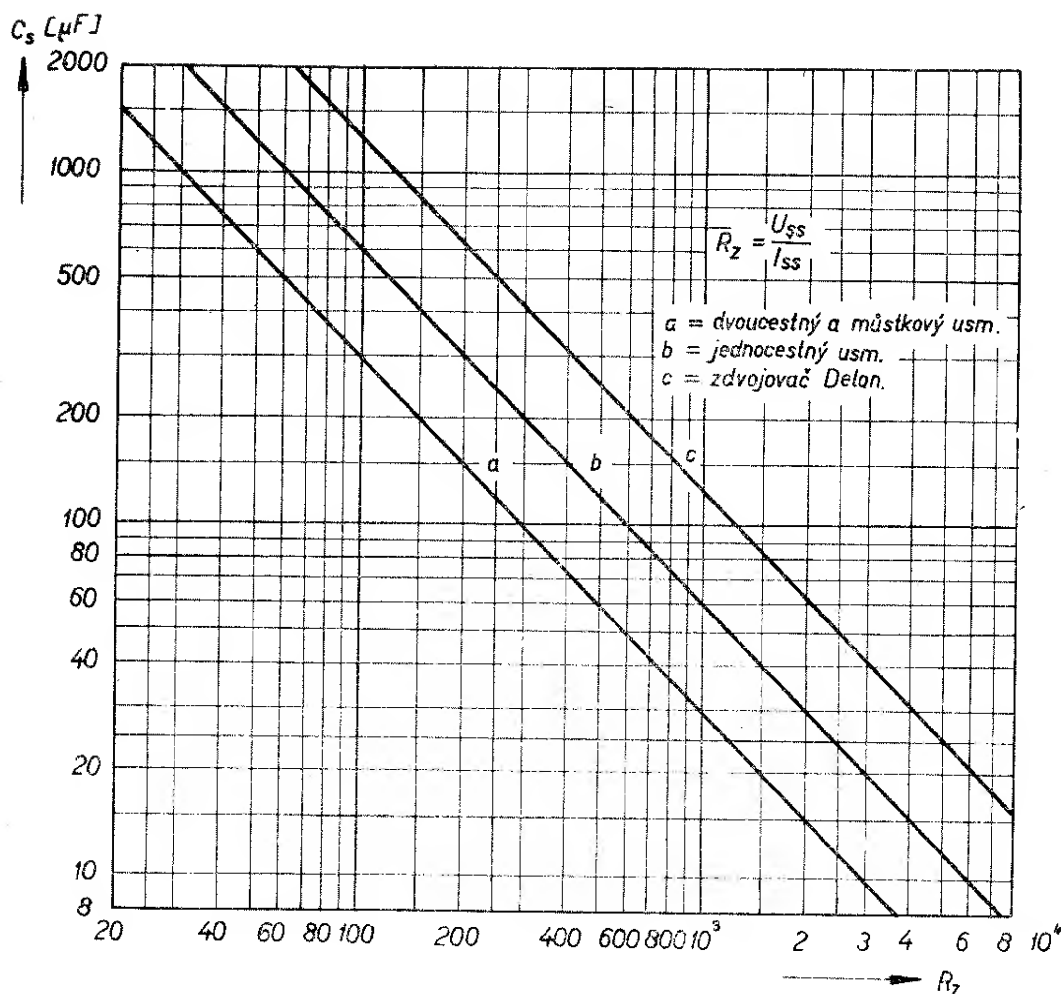
R_{prim} odpor primárního vinutí zjištěný měřením.

(U transformátoru navinutého pro požadovaný výkon se bude vypočtený odpor přibližně shodovat se změřeným).

Protože u dvoucestného a můstkového zapojení existují dvě usměrňovací cesty, musíme při zjišťování R_{f} vzít v úvahu jen jednu z nich; to znamená, že započítáváme odpor jen polovičního počtu ventilů a pochopitelně i jednu polovinu sekundáru u dvoucestného usměrňovače. Má-li být v sérii s ventilem zapojen ještě omezovací nebo ochranný odpor předepsaný výrobcem usměrňovače, musíme i ten započítat do celkového odporu R_{f} . Odpor usměrňovačů různých typů v propustném směru najdeme v některém z katalogů elektronek a polovodičových prvků, stejně jako velikost ochranného odporu, je-li předepsán.

3. Zjistíme, jakou kapacitu má mít sběrací kondenzátor, jímž je překlenut stejnosměrný výstup usměrňovače. Za diodou (diodami) dostáváme sice již stejnosměrný proud, ale velmi značně zvlněný (tzv. pulsační). Přímou za ně zapojujeme proto sběrací kondenzátor C_{s} , který má toto zvlnění velmi podstatně snížit. Aby bylo co nejmenší, měli bychom volit kapacitu sběracího kondenzátoru co největší. Výrobci diod, zejména vakuových, však tuto kapacitu omezují aby příliš velkým nabíjecím proudem nedošlo k poškození ventilu. Proto je třeba ověřit, jaká maximální kapacita C_{s} je předepsána a není-li nutné zapojit mezi usměrňovací diodu a sběrací kondenzátor omezovací odpor, jímž se zmírňuje proudový náraz při zapnutí přístroje, kdy kondenzátor je bez náboje a jeho odpor je téměř nulový. Omezovací odpor je třeba použít zásadně v případech, kdy je vynechán síťový transformátor a střídavý proud se odebírá přímo ze sítě, jejíž odpor je zcela zanedbatelný.

Minimální kapacitu sběracího kondenzátoru C_{s} asi pro desetiprocentní zvlnění zjistíme z nomogramu na obr. 29 po vypočtení zatěžovacího odporu



$$R_z = \frac{U_{ss}}{I_{ss}} \quad [\text{k}\Omega; \text{V}, \text{mA}],$$

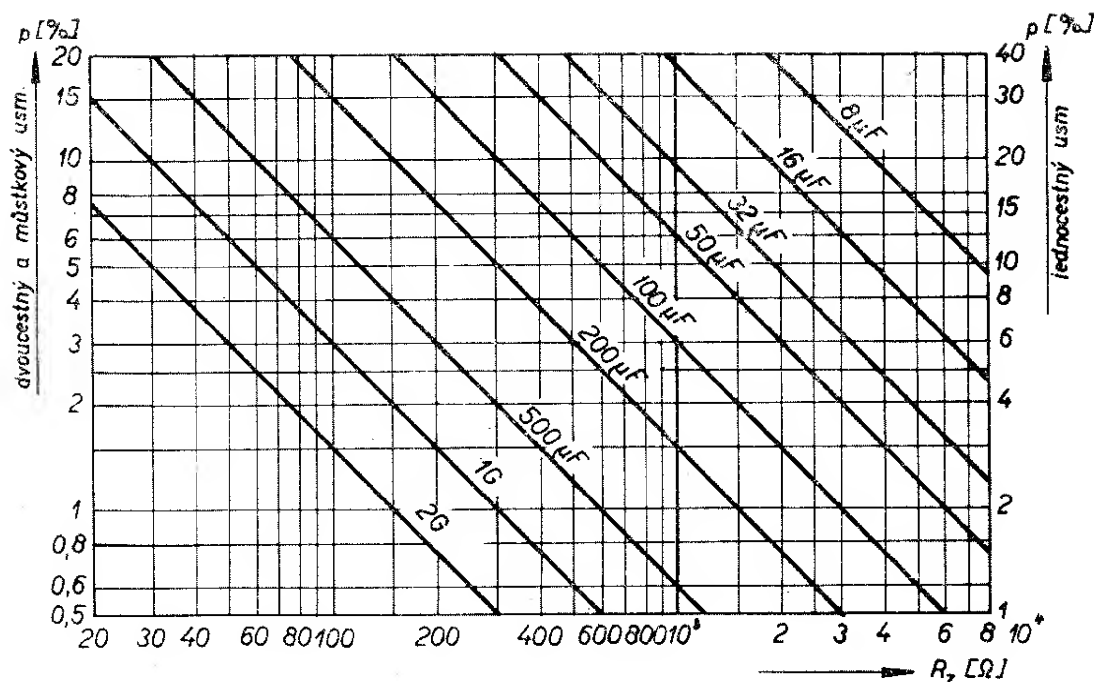
jímž je ve skutečnosti odpor přístroje, který budeme ze zdroje napájet. Na vodorovné ose nomogramu vyhledáme velikost zatěžovacího odporu R_z , po svislé postupujeme k přímkce, která přísluší použitému zapojení usměrňovače (dvoucestné a můstkové = a , jednocestné = b , zdvojovač napětí = c) a pak od průsečíku po vodorovné ose k levé stupnici, kde již přímo čteme kapacitu C_s . V praxi se kapacita sběracího kondenzátoru volí v rozmezí mezi minimální kapacitou zjištěnou z nomogramu a maximální, povolenou výrobcem ventilu. Rozhodující je obsah střídavé složky (zvlnění), který můžeme připustit, budeme-li pro některé obvody napájeného přístroje odebírat napětí přímo ze sběracího kondenzátoru. Přípustný obsah střídavé složky stejnosměrného napětí pro různé obvody elektronických přístrojů

je uveden v tabulce 4. Pro libovolnou kapacitu C_s jej vypočteme ze vzorce

$$p = \frac{z \cdot I_{ss}}{U_{ss} \cdot C_s} \quad [\%]; \text{—, mA, V, } \mu\text{F},$$

kde je p obsah střídavé složky,
 z koeficient, za který dosadíme číslo 300 pro dvoucestný a můstkový usměrňovač, 600 pro jednocestný usměrňovač a 1250 pro zdvojovač napětí,
 I_{ss} odebíraný stejnosměrný proud,
 U_{ss} stejnosměrné napětí na sběracím kondenzátoru,
 C_s kapacita sběracího kondenzátoru.

Nejrychleji tento údaj zjistíme z dalšího nomogramu na obr. 30. Vyhledáme průsečík odpovídající velikostem zatěžovacího odporu R_z a kapacity C_s a čteme na svislé stupnici vlevo obsah střídavé složky stejnosměrného napětí v % při



použití dvoucestrného nebo můstkového usměrnění. Stupnice vpravo náleží jednocestnému usměrnění; zdvojovač napětí má obsah střídavé složky ještě dvakrát větší. Je důležité ještě upozornit, že při výběru sběracího kondenzátoru musíme přihlížet k údaji maximálního napětí, na které jej smíme připojit. Toto tzv. provozní napětí musí být asi o 10 až 15 % větší než U_{ss} , které usměrňovač dodává.

Předpokládáme-li, že se odběr stejnosměrného proudu bude měnit nebo se občas přeruší, je třeba volit kondenzátor s provozním napětím o 50 % větším, neboť napětí U_{ss} vystoupí v takovém případě až na 1,4násobek. Jiná situace je u zdvojovačů napětí; v Delonově zdvojovači, kde jsou oba kondenzátory C_s a C'_s (zásadně stejné kapacity) zapojeny v sérii. V tomto zapojení stačí,

Tab. 4.

Napájený obvod	Přípustné zvlnění [%]
Předzesilovač pro mikrofon s velmi nízkým výstupním napětím	0,001 ÷ 0,002
Budič vysílače, mezistupně telefonního vysílače	0,01 ÷ 0,02
Detektor, nf předzesilovač	0,01 ÷ 0,05
Směšovač, vf a mf zesilovač přijímače, g_2 koncové elektronky	0,02 ÷ 0,1
Modulátor pracující ve třídě B	0,25
Poslední výkonový stupeň telefonního vysílače (bez g_2)	0,25 ÷ 1
Doutnavkové stabilizátory, anody obrazovek	0,5 ÷ 2
Nesouměrný koncový nf stupeň přijímače nebo zesilovače s pentodou (kromě g_2)	1 ÷ 4
Souměrný koncový nf stupeň přijímače nebo zesilovače s pentodami (kromě g_2)	2 ÷ 6
Poslední výkonový stupeň telegrafního vysílače (kromě g_2)	< 5
Buzený reproduktor	< 20

jsou-li zkoušeny na polovinu U_{ss} ; u kaskádového zdvojovače je třeba, aby provozní napětí C_s bylo stejné jako U_{ss} , zatímco u C'_s stačí opět jen polovina U_{ss} . Také v těchto případech přidáváme 10 až 15, popřípadě 50 % k U_{ss} , abychom zabránili náhodnému překročení provozního napětí, předepsaného pro použitý kondenzátor.

Příklad. – U rozhlasového přijímače v univerzálním zapojení bez síťového transformátoru chceme nahradit dosavadní jednocestný usměrňovač novým zdrojem se síťovým transformátorem a selenovým usměrňovačem v můstkovém zapojení. Současně vyměníme elektronky série U za elektronky s šestivoltovým žhavením. Požadujeme $U_{ss} \doteq 250$ V, $I_{ss} \doteq 65$ mA.

1. Vhodným ventilem bude můstkový selenový usměrňovač B250C 100, schopný dodávat 100 mA, jehož závěrné napětí pro každou větev můstku je $> 1,5 U_{ss}$.

2. Do vzorce ze str. 37 dosadíme za m 0,75, za U_{ss} 250 V, za I_{ss} 65 mA, za k (podle tabulky 3) 530. Odpor $R_f = R_v + R_{tr}$. Podle údajů výrobce je odpor jedné cesty selenového usměrňovače B250C 100 (pro 250 V a 100 mA) 120 Ω ; R_{tr} z nomogramu pro $U_{ss} = 250$ V a $I_{ss} = 65$ mA je přibližně 340 Ω . R_f bude tedy celkem $340 + 120 = 460$ Ω . Vypočteme $U_{stř} \doteq 0,75 \cdot 250 + \frac{65 \cdot 460}{530} \doteq 244$ V.

Budeme tedy potřebovat transformátor, který má sekundární vinutí 240 V pro usměrňovač a 6,3 V pro žhavení elektronek (výpočet zatížení uvedeme dále).

3. Minimální kapacita C_s pro $R_z = \frac{250}{65} \doteq 3,85$ k Ω je podle nomogramu na obr. 29 8 μ F pro zvlnění 10 %. Výrobce povoluje kondenzátor 50 μ F, který podle nomogramu na obr. 30 sníží zvlnění přibližně na 1,6 %. Toto zvlnění dovolí napájet anodu koncové pentody přímo ze sběracího kondenzátoru. Kondenzátor musí být zkoušen na minimální provozní napětí 250 V + 10 %, tj. 275 V.

K navržené úpravě univerzálního přijímače je třeba dodat, že její výhodou je odstranění nebezpečí úrazu elektrickým

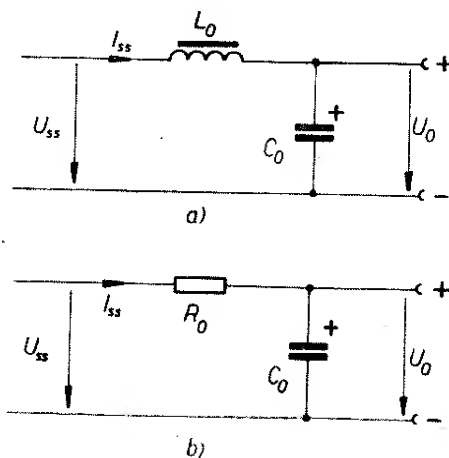
proudem (kostra přijímače je před úpravou spojena přímo se sítí), dále menší spotřeba, nižší zvlnění usměrňovaného napětí, větší výstupní výkon a tím i dokonalejší reprodukce. V některých případech je však třeba změnit katodový odpor koncové elektronky a v případě, že by se projevil sklon ke kmitání, snížit anodové napětí ostatních stupňů zvětšením filtračního odporu.

Vyhlazovací filtry

K napájení většiny elektronických přístrojů potřebujeme dokonaleji vyhlazený stejnosměrný proud, než jaký je možné odebírat přímo ze sběracího kondenzátoru. Proto zařazujeme za C_s vyhlazovací filtr, který ještě podstatně sníží zvlnění stejnosměrného proudu. Přípustný obsah střídavé složky stejnosměrného napětí na výstupu filtru je různý pro jednotlivé stupně elektronických přístrojů, jak ukazuje tab. 4.

V praxi nejčastěji používáme dva druhy vyhlazovacích filtrů: tlumivkový (LC) a odporový (RC). Jejich zapojení jsou na obr. 31. Vstup filtru připojujeme na sběrací kondenzátor usměrňovače. Z jeho výstupu odebíráme vyhlazený stejnosměrný proud s podstatně sníženým obsahem střídavé složky p_o , jejíž velikost můžeme vypočítat ze vzorců v tabulce na str. 41.

Návrh filtru můžeme také řešit pomocí nomogramů. Nomogram na obr. 32 je určen pro stanovení kapacity filtračního



Obr. 31.

Filtr	Zapojení usměrňovače		Dosazuje se v
	a, e	b, c, d	
Tlumivkový	$p_0 = \frac{10 \cdot p}{L \cdot C}$	$p_0 = \frac{2,5 \cdot p}{L \cdot C}$	[%; -, %, H, μF]
Odporový	$p_0 = \frac{3200 \cdot p}{R \cdot C}$	$p_0 = \frac{1600 \cdot p}{R \cdot C}$	[%; -, %, Ω , μF]

kondenzátoru C a indukčnosti tlumivky L pro požadovaný stupeň vyhlazení LC filtru. Indukčnost tlumivky v rozsahu 0,1 do 40 H je vynesena na vodorovné ose a velikost činitele vyhlazení v rozsahu 0,001 až 0,2 je vyznačena na svislé ose; vlevo pro zapojení usměrňovače b, c, d , vpravo s rozsahem 0,004 až 0,8 pro zapojení a, e . Průsečík kolmice vztyčené v bodě s údaj zvolené indukčnosti a přímky označené stanovenou kapacitou filtračního kondenzátoru udává hledaný stupeň vyhlazení s , vynesení na svislé ose. Tímto číslem vynásobíme již známý údaj o obsahu střídavé složky na sběracím kondenzátoru p a dostaneme konečný

údaj o velikosti zvlnění na výstupu filtru p_0 . Je-li toto zvlnění větší než potřebné pro napájený obvod, musíme volit kondenzátor o větší kapacitě nebo tlumivku o větší indukčnosti. Výsledné zvlnění je tedy

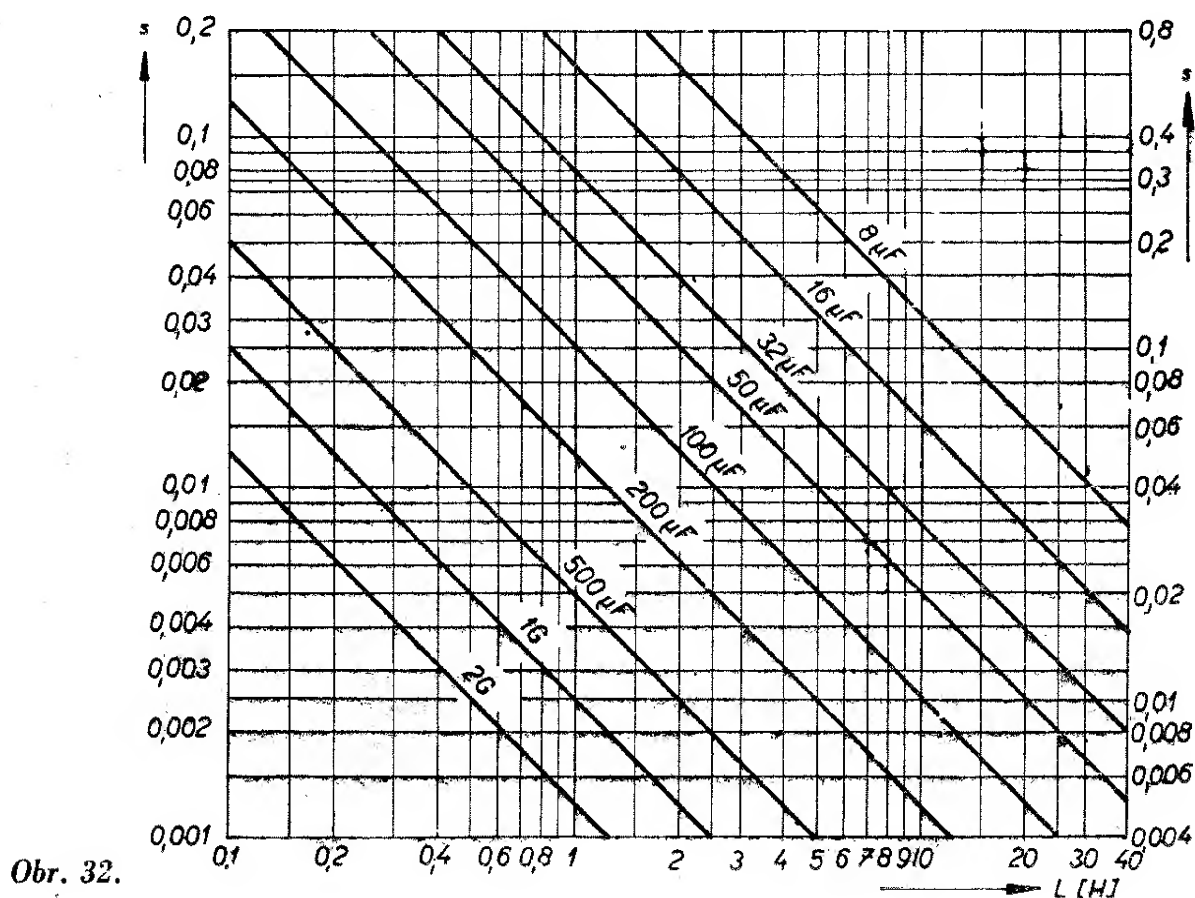
$$p_0 = p \cdot s,$$

kde je p_0 obsah střídavé složky na výstupu filtru v [%],

p obsah střídavé složky na sběracím kondenzátoru v [%],

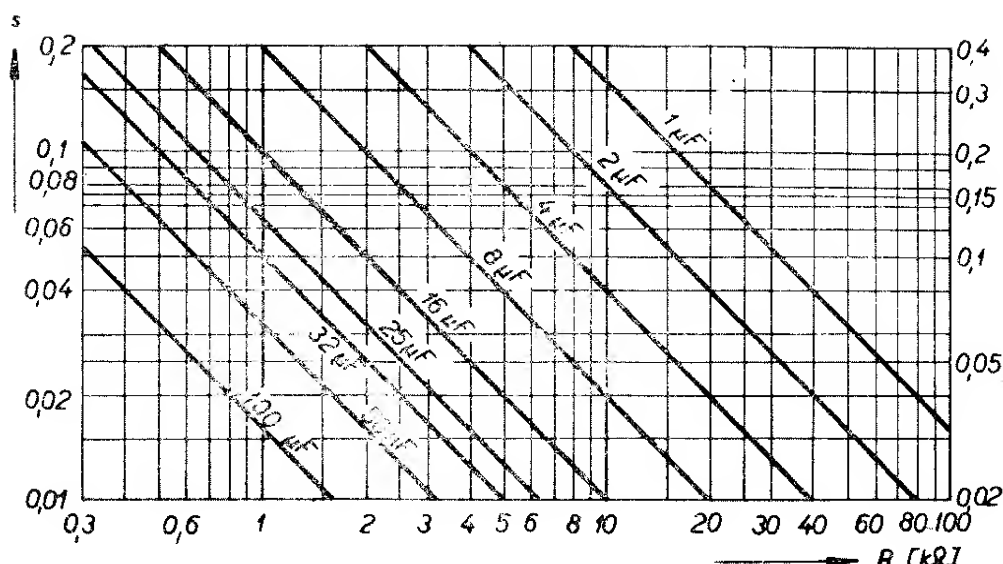
s číslo udávající stupeň vyhlazení (z nomogramu).

Vhodnou kombinací indukčnosti a kapacity dosáhneme snadno vyhovujícího



Obr. 32.

Obr. 33b.

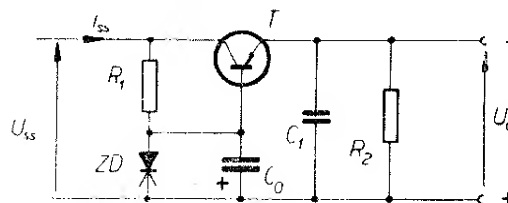


mu odebíranému výkonu (asi 1 : 1). Báze je napájena stabilizovaným napětím z děliče tvořeného odporem R_1 a Zenerovou diodou, která je překlenuta kondenzátorem o velké kapacitě C_0 . Výstup je zatížen odporem R_2 , jímž protéká asi padesátina odebíraného proudu. Kondenzátor C_1 blokuje výstup stejnosměrného proudu pro vyšší kmitočty. Střídavá složka na vstupu filtru vyvolá změny napětí na odporu R_1 vzhledem k tomu, že Zenerova dioda stabilizuje napětí mezi bází a kladným pólem. Kolísání napětí mezi bází a kolektorem vyvolá změny kolektorového proudu v opačném smyslu, takže za emitorem na výstupu filtru dostáváme dokonale vyhlazený proud při stabilním napětí. Filtrační tranzistor má mít větší proudové zesílení, protože na něm závisí jeho filtrační účinek. Efektivní kapacitance na výstupu je násobkem kapacity C_0 a proudového zisku tranzistoru. Tranzistor je třeba umístit na chladičovou desku. Stupeň potlačení střídavé složky dosahuje čísla 0,001 i více. Vřazením dalšího zesilovacího tranzistoru je možné přiměřeně zvýšit účinnost filtru, zejména při použití výkonového tranzistoru s menším ziskem. Filtr je třeba chránit před zkratem výstupního napětí, který by zničil tranzistor. Tavná pojistka je pro značnou setrvačnost nevyhovující, proto byla k ochraně tranzistorů vyvinuta spolehlivá elektronická zapojení, která nejsou zvlášť složitá. Ještě je třeba podotknout, že

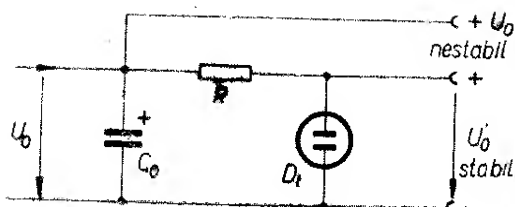
v zapojení na obr. 34 se odebírané stejnosměrné napětí velmi přibližně rovná Zenerovu napětí použité diody. Výběr této diody se tedy řídí napětím, které má zdroj na výstupu dodávat. Vhodným typem tranzistoru pro elektronický filtr nízkovoltového zdroje pro maximální odběr 12 V/1 A je 0C26.

Stabilizátory napětí

Zatímco elektronický filtr je kromě vyhlazení proudu schopen udržovat ještě při značných změnách odběru a síťového napětí stabilní stejnosměrné napětí, tlumivkové a především odporové filtry tuto vlastnost nemají. U zdrojů stejnosměrného napětí pro elektronické přístroje, u nichž záleží na stálosti stejnosměrného napětí (např. elektronkové voltmetry, budicí oscilátory apod.), stabilizujeme dodávaná napětí zvláštními doutnavkovými stabilizátory. Doutnavka je plynem plněná trubice, která udržuje na anodě stále stejnosměrné napětí (nejčastěji mezi 70 až 280 V podle typu stabilizátoru) při odběru maximálně několika desítek



Obr. 34.



Obr. 35.

miliampérů. Pro doutnavku je charakteristické tzv. zápalné napětí, které je o několik voltů větší než napětí provozní. Zapojení doutnavkového stabilizátoru je na obr. 35. Stejnosměrné napětí, na které chceme stabilizátor připojit, musí být přibližně o 50 % větší než provozní napětí stabilizátoru U_{stab} . Do série s doutnavkou se zapojuje odpor, který sníží napětí U_0 na U_{stab} . Velikost tohoto odporu vypočteme z rovnice:

$$R = \frac{U_0 - U_{stab}}{I_{min} + I_{max}} \text{ [k}\Omega; \text{V, V, mA, mA]},$$

kde je U_0 napětí zdroje za filtrem,
 U_{stab} provozní napětí doutnavky,
 I_{min} minimální proud doutnavky potřebný k tomu, aby nezhasl výboj,
 I_{max} maximální proud, který budeme ze svorky U_{stab} odebírat.

Přitom $I_{min} + I_{max}$ nesmí překročit povolený maximální proud doutnavky. Předřadný odpor musíme dimenzovat na stanovený příkon, tj. $(U_0 - U_{stab}) \cdot (I_{max} + I_{min})$. Činitel stabilizace je asi 20; to znamená, že změny napětí vyvolané kolísáním sítě a změnami v odběru v rozmezí I_{min} až I_{max} se zmenší na 5 % oproti změnám stejně velkého nestabilizovaného napětí. Změna síťového napětí o 10 % se projeví změnou stabilizovaného napětí asi o 0,5 V. Velikost provozního napětí a maximálního proudu stabilizátoru zjistíme v katalogu elektronek.

Síťový transformátor

Podstatnou částí usměrňovačů je napájecí transformátor, který má dodávat požadovaný střídavý proud při stanoveném napětí U_{st} . Má primární

vinutí pro příslušná napětí sítě a jedno nebo několik sekundárních vinutí. Hlavní sekundární vinutí má dodávat napětí, které jsme vypočítali podle vzorce na str. 37. Další sekundární vinutí bývají obvykle určena ke žhavení elektronek.

Při stanovení základních údajů pro výběr nebo konstrukci transformátoru se nejprve zabýváme zjištěním, jaký celkový výkon z něj budeme odebírat. Ten je dán součtem příkonů usměrňovače a žhavicích vláken všech elektronek. Tedy:

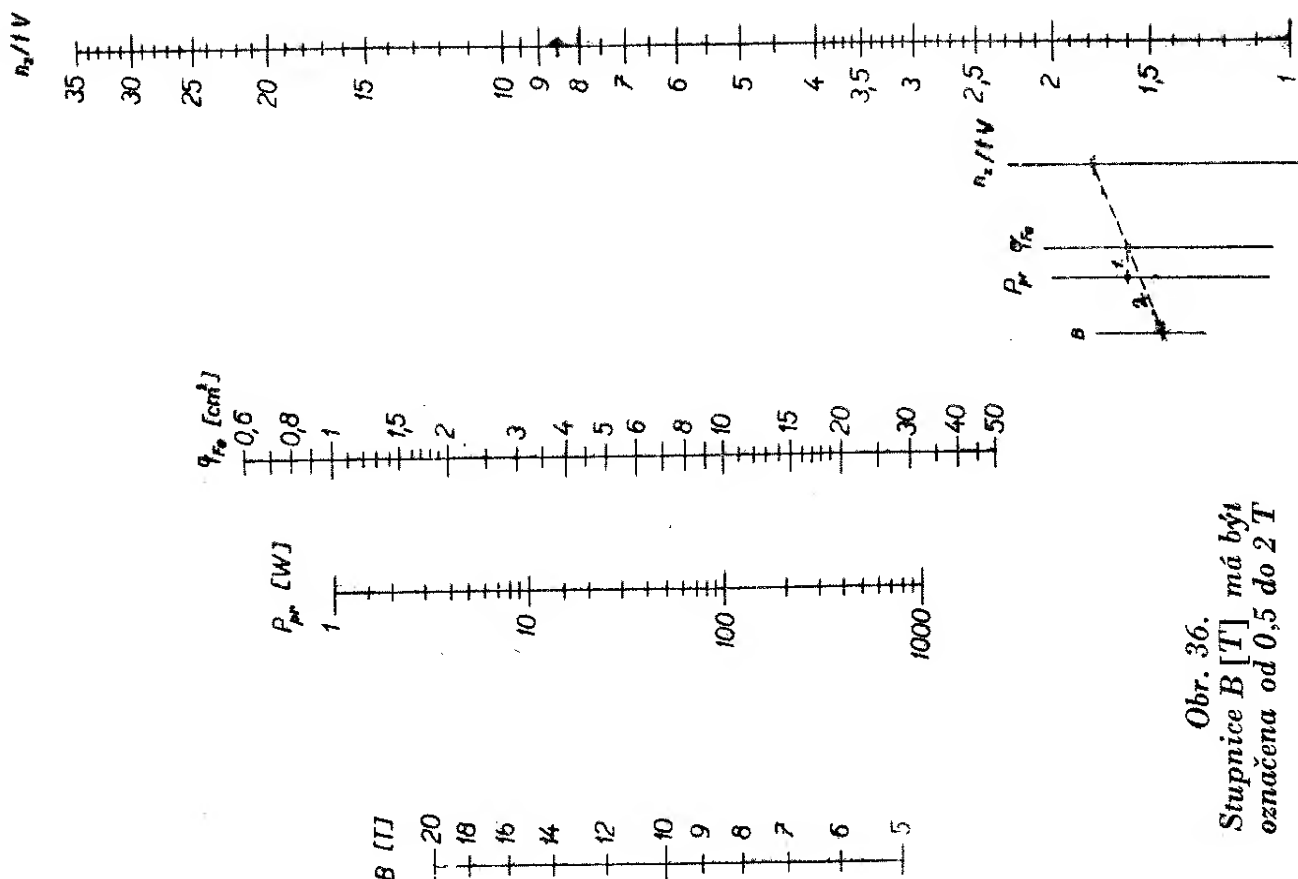
$$P_{sek} = P_{usm} + P_{zh} \text{ [W; W, W]}.$$

Z napětí a proudu stanovíme příkon usměrňovače, který bude zdroj dodávat. Zvětšíme jej o 60 % na ztráty ve vinutí, ve ventilu a ve filtru; u jednocestných usměrňovačů přidáváme s ohledem na špatnou účinnost dokonce 100 %. Příkon potřebný ke žhavení katod zjistíme ze součtu proudů všech elektronek, který násobíme žhavicím napětím; k výsledku připočteme 5 % na ztráty v odporu vinutí.

Podle těchto údajů hledáme napřed podobný transformátor na trhu; může být dimenzován i bohatěji, pokud příliš nezáleží na váze a rozměrech. Na trhu bývá dostatek transformátorů různých typů jako náhradních dílů pro přijímače, takže pro běžný napájecí zdroj, který má dodávat napětí od 250 do 350 V při proudech do 250 mA, není třeba transformátor navíjet. Při požadavku stejnosměrného napětí asi od 500 do 600 V použijeme s výhodou transformátor se sekundárem 2×250 až 300 V, který zapojíme tak, že z obou polovin sekundáru napájíme můstkový usměrňovač. Odchyly do 10 % požadovaného sekundárního napětí nejsou na závadu. Také pro síťové napájecí zdroje k tranzistorovým přijímačům se dá najít vhodný transformátor, který má nízkovoltový sekundár. Dovinutím několika závitů jej bez rozebírání upravíme na potřebné napětí.

Zjišťování dat neznámých transformátorů

Výkon, který je takový transformátor schopen dodávat, zjistíme podle rozměrů



Obr. 36.
Stupnice B [T] má být
označena od 0,5 do 2 T

jádra. Změříme šířku středního sloupku a výšku vrstvy železa v cm a znásobením zjistíme průřez jádra q_{Fe} v cm^2 . Na izolaci mezi plechy odečteme 10 %, čímž dostaneme čistý průřez jádra. Toto číslo pak umocníme dvěma a tím zjistíme výkon, který je transformátor schopen dodávat:

$$P_{sek} = 0,9 \cdot q_{Fe}^2 \quad [W; —, cm^2].$$

Pak odhadneme počet sekundárních závitů na volt z rovnice

$$n_2/1 V = \frac{45}{q_{Fe}} \quad [—; —, cm^2]$$

a pro kontrolu spočítáme závity v horní vrstvě, je-li přístupná. Bývá tam obvykle žhavicí vinutí 6,3 V. Do tohoto vinutí zavedeme z jiného transformátoru střídavý proud (z jeho šestivoltového vinutí) a měřením napětí na ostatních vinutích odhadneme, které z nich je primární. Je také možné navinout několik závitů provlékáním drátu zbylou mezerou v okénku a použít je stejně jako v předcházejícím případě. Navineme jich tolik,

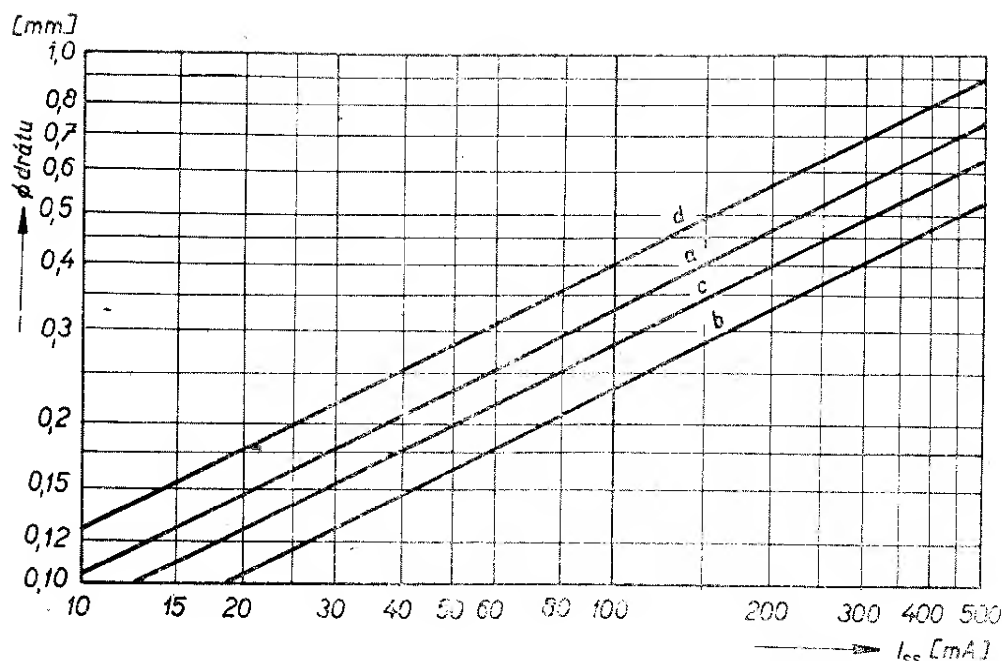
kolik je třeba pro napájecí napětí (např. $n_2/1 V : 6,3 V$). Po určení primáru zapojíme transformátor na síť a změříme napětí na všech sekundárních vinutích. Podle tloušťky drátu nebo podle odporu vinutí odhadneme, jaké zatížení asi snese.

Návrh transformátoru

Teprve nemáme-li možnost obstarat si vhodný transformátor hotový, rozhodujeme se pro jeho navinutí. Je to nutné zejména v případech, kdy jde o speciální požadavky, jako jsou zvláštní odbočky na primáru nebo sekundáru, další sekundární vinutí, neobvyklá napětí, mimořádné nároky na izolaci vinutí apod.

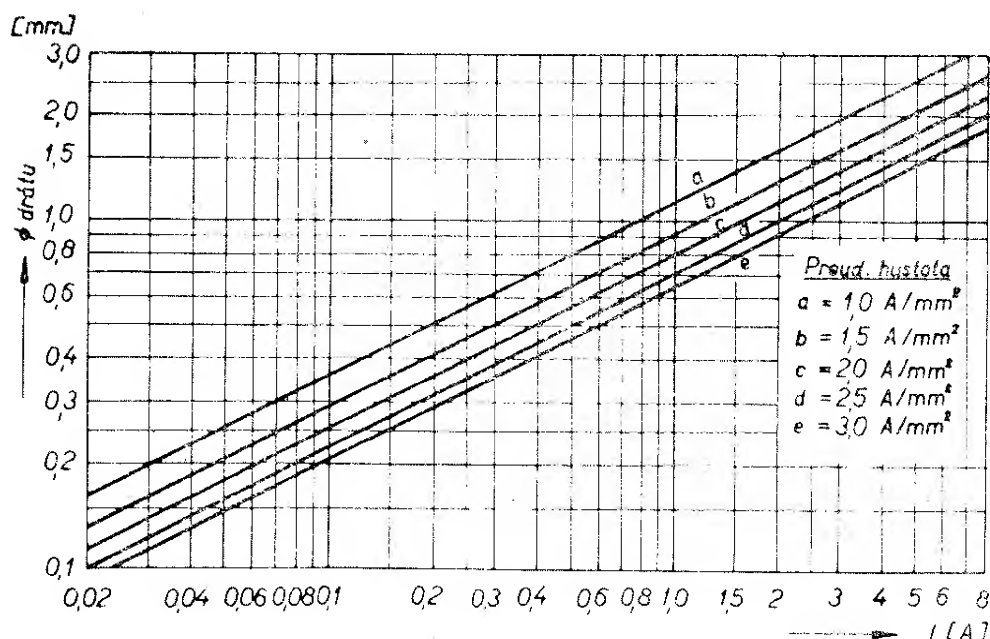
Návrh transformátoru usnadní nomogram na obr. 36. Sečteme sekundární příkony podle rovnice $P_{sek} = P_{usm} + P_{zh}$, jak již bylo vysvětleno a výsledek násobíme číslem 1,1 (to znamená, že ještě přidáme 10 % na ztráty v železe a v primárním vinutí). U transformátorů do příkonu 10 W musíme násobit číslem 1,2, protože jejich účinnost je přiměřeně nižší.

Obr. 37.



Na stupnici označené P_{pr} vyhledáme příslušný dílek pro příkon transformátoru. Tento dílek spojíme vodorovnou čarou se stupnicí q_{Fe} a tím dostaneme průřez středního sloupku jádra v cm^2 . Zvolíme nyní magnetické sycení jádra (obvykle 1 T) na stupnici B a příslušný dílek spojíme přímkou s dílkem na stupnici q_{Fe} , který odpovídá požadovanému P_{pr} . Prodloužením přímky až ke stupnici $\frac{n_z}{1 V}$ dostaneme průsečík, v němž čteme počet závitů na 1 volt pro daný průřez jádra. Pak stačí už jen zjištěný počet závitů na volt vynásobit napětím určeným pro

jednotlivá vinutí primáru i sekundáru a výpočet je hotov. Výjimka je jen u primáru (celkový počet jeho závitů ještě zmenšíme o 7 až 8 %) a u transformátorů do příkonu 10 W (u nich zvětšíme počet sekundárních závitů o 2 až 4 %). Podle proudů, které budeme z transformátoru odebírat, určíme průměry drátů pro jednotlivá vinutí. K jejich snadnému stanovení slouží nomogramy na obr. 37 a 38. První nám pomůže zjistit, jaký průměr drátu je třeba volit k navinutí sekundáru pro stanovený maximální stejnosměrný proud, který budeme ze zdroje odebírat. Přitom použijeme přímku



Obr. 38.

a pro jednocestný, *b* pro dvoucestný a *c* pro můstkový usměrňovač; *d* platí pro zdvojovač napětí. Nomogram je sestaven pro zatížení drátů 2,5 A na 1 mm² průřezu s přihlédnutím k poměru I_{ef}/I_{ss} , který činí 1,1 až 3,2 pro jednotlivá zapojení usměrňovače, jak je uvedeno v tab. 3. Druhý nomogram použijeme k určení průměrů drátů u dalších sekundárních vinutí, sloužících zpravidla ke žhavení elektronek, a u primárního vinutí, u něhož zatím neznáme velikost protékajícího střídavého proudu. Zjistíme jej z příkonu transformátoru podle vzorce

$$I = \frac{P}{220} \text{ pro napětí ze sítě 220 V}$$

a $I = \frac{P}{120}$ pro 120 V. U síťových transformátorů volíme obvykle proudovou hustotu 2,5 A na mm². Před navíjením transformátoru se přesvědčíme, vejdou-li se všechna vinutí do prostoru

okénka v jádru. Slouží k tomu tabulka 5, v níž najdeme údaj o počtu závitů drátu stanoveného průměru, který se vejde na 1 cm² plochy okénka. Nesmíme však zapomenout odečíst plochu, kterou zabere cívkové tělísko. Protože drát tlustší než 1,5 mm se velmi špatně vine, je lépe použít dva slabší dráty a vinout je paralelně. Proto nejsou v tabulce větší průměry než 1,6 mm.

Příklad. – Máme navinout síťový transformátor s primárem 120/220 V a sekundárem: 1. vinutí 240 V/65 mA pro můstkový usměrňovač, 2. vinutí 6,3 V/2,2 A pro žhavení elektronek.

1. Sečteme výkon odebíraný ze sekundárních vinutí:

Příkon usměrňovače

$$240 \text{ V} \times 0,065 \text{ A} \doteq 15,5 \text{ W},$$

$$\text{k tomu } 60 \% \doteq 24 \text{ W}.$$

Příkon katod elektronek

$$6,3 \text{ V} \times 2,2 \text{ A} \doteq 13,8 \text{ W},$$

$$\text{k tomu } 5 \% \doteq 14,5 \text{ W}.$$

Sekundární odběr P_{sek} celkem 38,5 W.

Tab. 5. Počet závitů lak. drátu na 1 cm² plochy okénka

Ø drátu [mm]	n_z/cm^2	Ø drátu [mm]	n_z/cm^2
0,08	9200	0,37	575
0,09	7400	0,40	490
0,10	6100	0,45	390
0,11	5000	0,50	320
0,12	4300	0,55	264
0,13	3700	0,60	220
0,14	3300	0,65	186
0,15	2900	0,70	163
0,16	2600	0,75	142
0,17	2350	0,80	127
0,18	2100	0,85	111
0,19	1950	0,90	100
0,20	1750	0,95	90
0,22	1480	1,0	82
0,24	1280	1,1	65
0,25	1190	1,2	55
0,28	970	1,3	45
0,30	850	1,4	40
0,32	760	1,5	32
0,35	640	1,6	28

2. Z toho primární příkon $P_{pr} = 1,1 \cdot 38,5 \text{ W} \doteq 42,5 \text{ W}$, zaokrouhleno 43 W.
3. Dále podle nomogramu: $q_{Fe} \doteq 6,5 \text{ cm}^2$; $n_z/1 \text{ V}$ (při sycení $B = 1 \text{ T}$) $\doteq 7$. Máme-li ve svých zásobách jádro o poněkud větším průřezu středního sloupku a nevadí-li nám větší rozměry, vycházíme při stanovení počtu závitů na 1 V z naměřeného průřezu.
4. Počet závitů na sekundáru: 1. vinutí $240 \cdot 7 = 1680$ závitů, 2. vinutí $6,3 \cdot 7 \doteq 44$ závitů.
5. Počet závitů na primáru: celkově $220 \cdot 7 = 1540$ závitů, po odečtení 7 % $\doteq 1432$ závitů, odbočka pro 120 V $= 120 \cdot 7 = 840$ závitů, po odečtení 7 % $\doteq 781$ závitů.
6. Proud v primárním vinutí I_{pr} při 220 V $\doteq 43 : 220 \doteq 0,195 \text{ A}$, při 120 V $\doteq 43 : 120 \doteq 0,36 \text{ A}$.
7. Průměry drátu (podle nomogramů na obr. 37, 38):
sekundární vinutí
240 V/65 mA 0,25 mm,

sekundární vinutí

6,3 V/2,2 A 1,0 mm,

primární vinutí

220 V/0,195 A 0,32 mm,

120 V/0,36 A 0,45 mm.

Všechny průměry drátu byly stanoveny pro proudovou hustotu $2,5 \text{ A/mm}^2$.

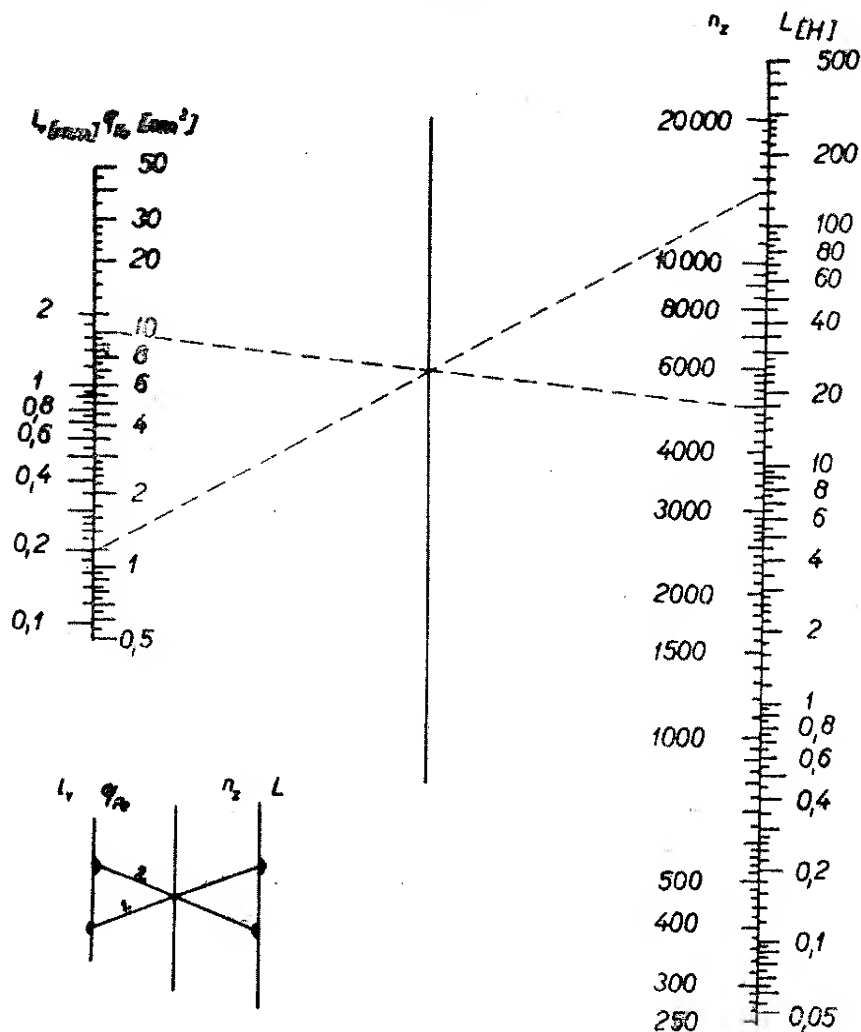
8. Souhrn údajů pro konstrukci transformátoru:

Čistý průřez jádra: $6,5 \text{ cm}^2$.

Primár: 120 V: 781 závitů drátu o $\varnothing 0,45 \text{ mm}$, zbytek 100 V (do 220 V): 651 závitů drátu o $\varnothing 0,32 \text{ mm}$; celkem 1432 závitů.

Sekundár: 240 V/65 mA: 1680 závitů drátu o $\varnothing 0,25 \text{ mm}$, 6,3 V/1 A: 44 závitů drátu o $\varnothing 1,0 \text{ mm}$.

9. Ke zjištěnému průřezu jádra $6,5 \text{ cm}^2$ připočteme 10 % na izolaci mezi plechy a nedokonalé stažení jádra. Tím



Obr. 39.

Tab. 6. Údaje pro návrh filtrační tlumivky

Součin $L \cdot I_{ss}^2$ [H, mA]	Druh plechů	Výška vrstvy plechů h [mm]	Efektivní průřez jádra q_{Fe} [cm ²]	Délka střední sílo- čáry l_{Fe} [cm]	Šířka vzduchové mezery l_v [mm]	Plocha okénka pro vinutí [cm ²]	Přibližná váha želez- ného jádra [kg]
25 000	EI 16	16	2,1	8,9	0,6	1,92	0,17
35 000	EI 16	20	2,9	8,9	0,6	1,92	0,22
43 000	EI 16	25	3,6	8,9	0,6	1,92	0,27
53 000	EI 20	20	3,6	11,1	0,74	3,0	0,30
67 000	EI 20	25	4,5	11,1	0,74	3,0	0,39
85 000	EI 20	32	5,75	11,1	0,74	3,0	0,49
100 000	EI 25	25	5,6	13,9	0,92	4,68	0,58
130 000	EI 25	32	7,2	13,9	0,92	4,68	0,74
180 000	EI 25	40	9,0	13,9	0,92	4,68	0,92
220 000	EI 32	32	9,2	17,8	1,2	7,68	1,25
270 000	EI 32	40	11,5	17,8	1,2	7,68	1,55
340 000	EI 32	50	14,4	17,8	1,2	7,68	1,95
430 000	EI 40	40	14,4	22,3	1,5	12,0	2,40
540 000	EI 40	50	18	22,3	1,5	12,0	2,98
680 000	EI 40	64	23	22,3	1,5	12,0	3,80

dostaneme plošný rozměr dutiny cívko-
vého tělíska (v kolmém řezu) 7,15 cm².
Odmocněním tohoto čísla ($\sqrt{7,15} \doteq$
 $\doteq 2,7$ cm²) dojdeme k přibližné šířce
středního sloupku plechu a podle
tabulky vyráběných plechů vybereme
vhodný druh. Mezi tzv. plechy EI jsou
v šířce středního sloupku nejbližší
rozměry 2,5 a 2,8 cm. Dělíme-li nyní
průřez 7,15 cm² šířkou středního
sloupku 2,5 i 2,8 cm, zjistíme, že
budeme potřebovat vrstvu plechů
2,85 nebo 2,55 cm podle toho, který
druh dostaneme koupit.

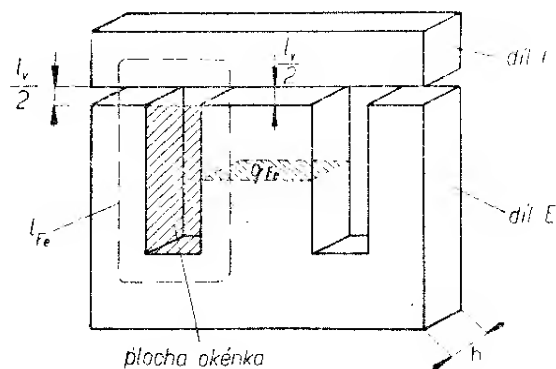
10. Podle tabulky 5 se přesvědčíme,
vejdou-li se všechna vinutí do okénka
použitého jádra. Nesmíme zapome-
nout, že část plochy tohoto okénka
zabere cívkové tělísko (u nejmenších
jader téměř 1/3) a izolace mezi
vrstvami drátu. Při výpočtu plochy
zabrané vinutím vycházíme z počtu
závitů jednotlivých vinutí a průřezů

použitého drátu. Plocha okének,
zejména u jader EI, je poměrně
malá a proto při zhotovování cívko-
vého tělíska musíme „šetřit“ mate-
riálem a při navíjení dbát na co
nejúčelnější kladení a dostatečné
utahování závitů. Určité úspory místa
dosáhneme tím, že navrhujeme primár
jen pro jedno síťové napětí. Navinutou
cívku plníme transformátorovými ple-
chy, zasunovanými střídavě z jedné
a z druhé strany tak, aby nevznikla
vzduchová mezera.

Filtrační tlumivka

Podobně jako síťový transformátor si
můžeme zhotovit i filtrační tlumivku.
Její navinutí je dokonce ještě snadnější,
protože při něm použijeme jen drát
jednoho průměru a budeme navíjet bez
přerušování, přičemž nároky na izolaci
mezi vrstvami jsou nepatrné; jenom proti
jádru musíme vinutí izolovat dokonaleji,

a to na plné U_{ss} . Výpočet je zjednodušen na minimum. Po zjištění, jakou indukčnost má tlumivka mít a jakým maximálním proudem ji chceme zatížit, vyhledáme v tabulce 6 součin $L \cdot I_{ss}^2$, nejbližší součinu zvolených veličin, které případně ještě upravíme tak, aby se co nejvíce blížily číslu uvedenému v tabulce. V dalších rubrikách této tabulky potom najdeme druh plechů, který je třeba použít, výšku vrstvy plechů h , efektivní průřez jádra q_{Fe} , délku střední siločáry v jádře l_{Fe} , vzduchovou mezeru l_v , plochu okénka vymezenou pro vinutí a přibližnou váhu jádra. Potřebný počet závitů potom stanovíme z nomogramu na obr. 39. Pracujeme s ním takto: údaj o velikosti vzduchové mezery l_v , který jsme zjistili v tabulce, vyhledáme na levé stupnici. Stanovený dílek spojíme přímkou s dílkem určujícím velikost indukčnosti na stupnici označené L (vpravo). Průsečík této přímky se svislou pomocnou osou nomogramu (uprostřed mezi stupnicemi) spojíme pak pomocí pravítka s dílkem, který odpovídá požadovanému průřezu jádra q_{Fe} ; prodloužením spojnice vpravo až na stupnici n_z dostaneme další průsečík, z něhož čteme hledaný počet závitů. Je třeba poznamenat, že výsledek je jen přibližný vzhledem k tomu, že jej ovlivňuje řada těžko ověřitelných činitelů. Průměr drátu pro navinutí tlumivky stanovíme podle maximálního proudu, který bude tlumivkou protékat. Použijeme k tomu nomogram na obr. 37, v němž vyhledáme výsledek příslušný k čáře d , popřípadě e . Protože okénka v jádře EI (jeho obecné rozměry s vyznačením q_{Fe} , l_{Fe} a l_v najdeme na obr. 40) jsou poměrně



Obr. 40.

malá, je nutné použít cívkové tělísko bez čel – zvláště u malých jader, vinout co nejvíce do krajů, závitů řádně utahovat a vrstvy prokládat jen velmi jemným papírem. Kdyby se nám při kontrole plnění okénka zdálo, že se do něj stanovený počet závitů nevejde, museli bychom použít slabší drát a připustit jeho větší proudové sycení, nebo se smířit s menší indukčností a navinout přiměřeně menší počet závitů. Do navinuté cívky vkládáme plechy E stále z jedné strany, abychom po přiložení dílu I mohli správně nastavit vzduchovou mezeru. Vymezíme ji vhodnou vložkou z lepenky nebo slabého pertinaxu potřebné tloušťky. Nesmíme zapomenout, že u jader EI je magnetický tok přerušen dvakrát, proto je třeba vzduchovou mezeru, jejíž velikost jsme našli v tabulce 6, zmenšit na polovinu.

Pro ty, kteří raději počítají, uvádíme zjednodušené vzorce pro výpočet dat potřebných ke konstrukci filtrační tlumivky:

$$q_{Fe} \doteq \frac{L \cdot I_{ss}^2}{2l_v \cdot 10^4} \quad [\text{cm}^2; \text{H}, \text{mA}, \text{mm}, —],$$

$$n_z \doteq \frac{4l_v \cdot 10^5}{I_{ss}} \quad [—; \text{mm}, —, \text{mA}],$$

$$l_v \doteq \frac{l_{Fe}}{150} \quad [\text{mm}; \text{mm}, —].$$

U neznámých tlumivek, které se nyní objevují na trhu při výprodeji starých televizorů a rozhlasových přijímačů, zjistíme jejich přibližné zatížení z velikosti jádra a odporu vinutí. Vycházíme z předpokladu, že filtrační tlumivku je možné zatížit přibližně takovým výkonem, jaký odpovídá asi druhé odmocnině průřezu středního sloupku jádra v cm^2 . Vycházíme tedy ze vztahu:

$$P \approx \frac{\sqrt{q_{Fe}}}{0,9 \div 1,2} \quad [\text{W}; \text{cm}^2, —].$$

Nyní tento výkon, který se při plném zatížení proměňuje v odpor tlumivky v teplo, dosadíme do další rovnice současně s odporem jejího vinutí, který jsme si změřili. Výsledkem je přibližná velikost proudu, jímž můžeme tlumivku zatížit:

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad [A; W, \Omega].$$

Obtížnější je stanovit indukčnost tlumivky bez měření. Můžeme vycházet jen z předpokladu, že u malých filtračních tlumivek pro zatížení 50 až 200 mA, které mívají odpor 100 až 400 Ω a průřez železa 2 až 6 cm², se indukčnost pohybuje přibližně mezi 3 a 6 H.

Příklad. – Filtrační tlumivka má mít indukčnost 6 H při zatížení proudem 65 mA. Při výpočtu postupujeme takto:

1. $L \cdot I^2 = 6 \cdot 65^2 = 6 \cdot 4225 = 25\,350$
2. Pro $L \cdot I^2 = 25\,350$ se podle tabulky hodí jádro EI 16/16, které má čistý průřez $q_{Fe} = 2,1 \text{ cm}^2$. Vzduchová mezera $l_v = 0,6 \text{ mm}$ (opět podle tabulky).
3. V nomogramu na obr. 39 spojíme přímkou bod 0,6 mm levé stupnice l_v s bodem 6 H na pravé stupnici L . Její průsečík na střední ose spojíme další přímkou s dílkem 2,1 cm² na levé stupnici q_{Fe} . Tuto přímkou prodloužíme vpravo až ke stupnici n_z , na níž potom v dalším průsečíku čteme údaj 3300 závitů.
4. V nomogramu na obr. 37 vyhledáme průměr drátu, kterým budeme tlumivku vinout. Pro zatížení 2,5 A/mm² je to 0,18 mm.
5. Tabulku 5 použijeme ke zjištění, jakou plochu v okénku zabere 3300 závitů drátu o \varnothing 0,18 mm CuP. Pro 1 cm² je to 2100 závitů, při 3300 závitech to bude $3300 : 2100 = 1,57 \text{ cm}^2$. Z celkové plochy okénka 1,92 cm² zbývá na tělísko jen 0,35 cm².

Místo cívky zhotovíme jen hranolek bez čel z lesklé lepenky a závity vineme co nejvíce do krajů. Nevejde-li se plný počet závitů, musíme se smířit s menší indukčností tlumivky. Trváme-li na původně určené hodnotě a máme-li obavy, že se s vinutím do okénka nevejdeme, zvolíme větší jádro EI 20/20 a znovu vypočítáme závity. Tentokrát vyjde 3000 závitů, které se již do okénka o ploše 3 cm² i s tělískem jistě vejdou.

6. Navinutou cívku vyplníme vkládáním plechů E, k nimž z druhé strany přiložíme stejnou vrstvu plechů I. Vložením lepenkového pásku vymezíme mezi sloupkem I a E vzduchovou mezeru l_v , která je polovinou stanovené mezery, tj. 0,37 mm.

Abychom si celou kapitolu zopakovali, vypočítáme si ještě jeden návrh síťového napájecího zdroje. Máme navrhnout dílenský zdroj stejnosměrného napětí 400 V/200 mA, vhodný i k napájení nf zesilovače 20 W, vysílače tř. B apod. s použitím součástek, které jsou na trhu. Hodí se k tomu napájecí díl z televizoru Tesla 4001, který je ve výprodeji levně k dostání. Data transformátoru: zatížení 150 W, primár 120/220 V, sekundár 1. vinutí dvakrát 355 V/200 mA s odbočkami na 210 V, 2. vinutí dvakrát 6,3 V/3 A, 3. vinutí 4 V + 2,3 V/2 A (doplňek na 6,4 V/0,6 A), 4. vinutí 4 V/2 A. Změřený odpor primáru je 13 Ω (při 220 V), poloviny sekundáru 80 Ω . Celkový odpor poloviny sekundárního vinutí podle vzorce

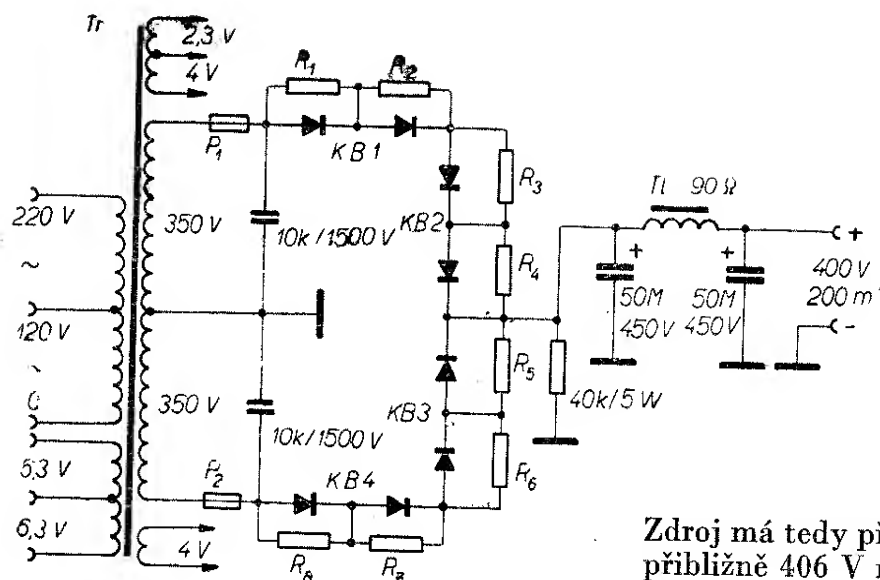
$$R_{tr} = R_{sek} + p^2 \cdot R_{pr} = \\ = 80 + \left(\frac{355}{220}\right)^2 \cdot 13 = 114 \Omega.$$

Data tlumivky měřením a odhadem: odpor vinutí 90 Ω , průřez jádra $q_{Fe} =$

$$= 5 \text{ cm}^2. \text{ Zatížení } P = \frac{\sqrt{q_{Fe}}}{0,9} = \frac{\sqrt{5}}{0,9} = \\ = 2,5 \text{ W. Dále } I_{max} = \sqrt{\frac{P}{R}} = \\ = \sqrt{\frac{2,5}{90}} = 0,165 \text{ A, tj. } 165 \text{ mA. In-}$$

dukčnost byla podle poměrně malého odporu odhadnuta na 2,5 H. Zdroj zapojíme podle schématu na obr. 41.

K usměrnění střídavého proudu použijeme 4 křemíkové bloky KA 220/05, které zapojíme po dvou do série v každé větvi. Jejich provozní data: max. usměrněný proud 500 mA, závěrné efektivní napětí 700 V (dva bloky v sérii 1400 V), odpor v propustném směru 9 Ω , min. odpor vinutí transformátoru 7 Ω pro $C_s = 100 \mu F$ a 15 Ω pro $C_s = 200 \mu F$.



Obr. 41.

Každá dioda musí být překlenuta paralelně odporem 330 kΩ/0,5W, aby závěrné napětí bylo rozděleno na všechny diody rovnoměrně. Podle tabulky má být při dvoucestném usměrnění $U_z = 3U_{ss}$. V našem případě je tedy $U_z \doteq 3 \cdot 400 \doteq 1200$ V, takže dva bloky v sérii v každé větvi vyhovují.

R_f (odpor fáze) = $R_{tr} + R_v = 114 + 9 + 9 = 132 \Omega$. Přistoupíme k výpočtu:

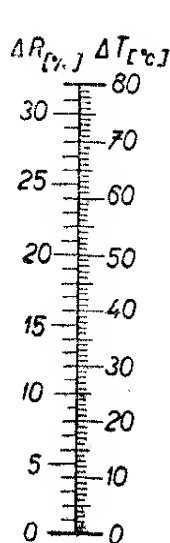
1. Podle upraveného vzorce ze str. 37 provedeme velikost usměrněného napětí:

$$U_{ss} \doteq 1,33 \cdot U_{stř} - \frac{I_{ss} \cdot R_f}{400} = 1,33 \cdot 355 - \frac{200 \cdot 132}{400} \doteq 472 - 66 \doteq 406 \text{ V.}$$

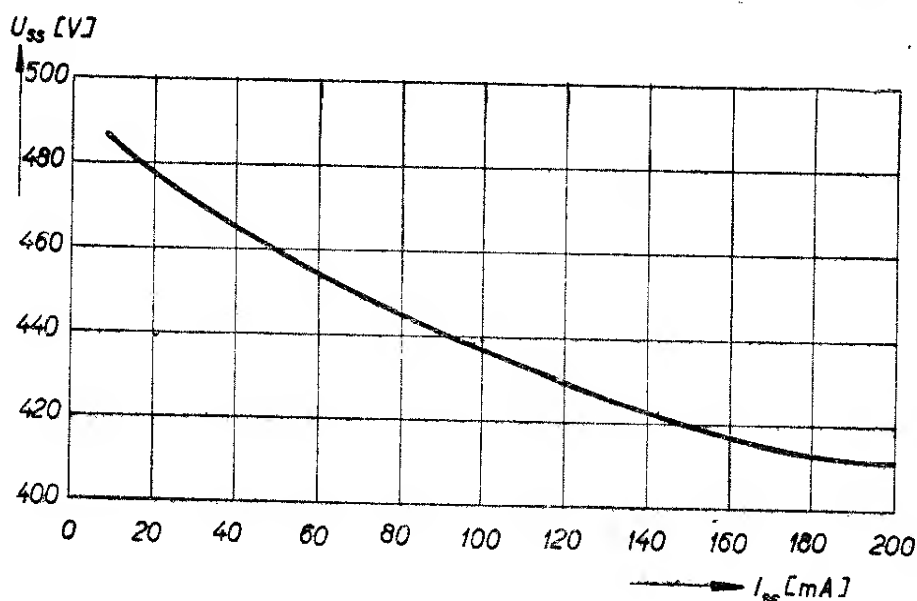
Zdroj má tedy při plném zatížení dávat přibližně 406 V na sběracím kondenzátoru.

2. Zvolíme-li kapacitu sběracího kondenzátoru 50 μF, bude podle nomogramu na obr. 30 obsah střídavé složky pro zatížení 200 mA činit 3 %, tj. 12 V. Kondenzátor musí být zkoušen na provozní napětí 406 V + 10 %. Vyhoví tedy kondenzátor 50 μF/450 V.

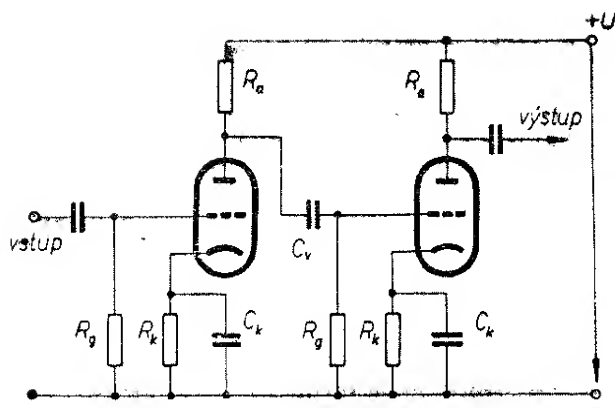
3. Zapojíme-li tlumivkový filtr za sběrací kondenzátor, bude při $L = 2,5$ H a $C = 50 \mu\text{F}/450$ V podle nomogramu na obr. 30 snížen obsah střídavé složky na $p_o \doteq 0,24$ procenta. Stejnoseměrné napětí se přitom sníží o ztrátu v odporu tlumivky o 18 V, jak vypočítáme podle Ohmova zákona $U = I \cdot R = 0,2 \cdot 90 = 18$ V. Při plném zatížení bude tlumivka mírně přetížena. Její oteplení,



Obr. 42.



Obr. 43.



Obr. 44a.

popřípadě oteplení síťového transformátoru při plném zatížení můžeme zkontrolovat pomocí grafu na obr. 42. Je všeobecně známo, že s oteplením odpor drátu stoupá. Změříme tedy odpor vinutí tlumivky (primárního vinutí transformátoru) jednak před zapnutím zdroje (R_1) a jednak po několika hodinách provozu při plném zatížení (R_2). Potom vypočítáme, o kolik procent se zvětšil odpor vinutí dosazením změřených hodnot R_1 a R_2 do rovnice

$$\Delta R = \frac{100 \cdot (R_2 - R_1)}{R_1} [\% ; -, \Omega, \Omega, \Omega]$$

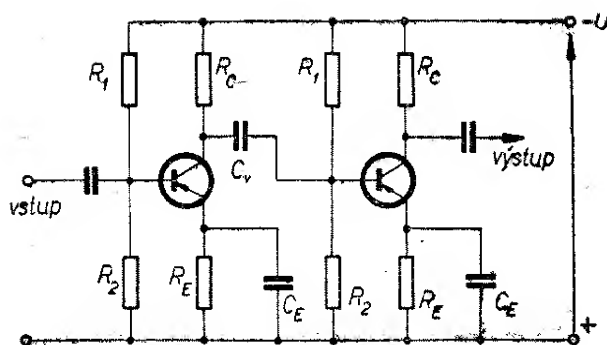
a v grafu pak jednoduše vyhledáme údaj ΔT , který připočteme k teplotě vzduchu v místnosti v době měření. Součet udává skutečnou teplotu vinutí, která nemá při plném zatížení překročit 80 °C. Zatěžovací křivka je na obr. 43. Je z ní zřejmé, že zdroj je velmi tvrdý.

Zesilovače a oscilátory

Nízkofrekvenční předzesilovač s vazbou RC

Základní zesilovací stupeň s vakuovou elektronkou jsme poznali již v přecházející kapitole; jeho zapojení je na obr. 22. Také základní zesilovací stupeň s tranzistorem jsme již popsali; jeho zapojení je např. na obr. 23b, 25.

Protože zesílení dosažitelné jediným zesilovacím stupněm bývá pro většinu praktických přístrojů nedostatečné, spojuje se více takových stupňů v několika-stupňový zesilovač. Příklad základního



Obr. 44b.

zapojení dvoustupňového nízkofrekvenčního předzesilovače s vakuovými elektronkami je na obr. 44a, příklad dvoustupňového zesilovače s tranzistory na obr. 44b. V obou zapojeních se přivádí signál zesílený prvním zesilovacím prvkem na vstup druhého zesilovacího prvku přes vazební kondenzátor C_v . Vazební kondenzátor slouží v elektronkovém i tranzistorovém zapojení k oddělení stejnosměrného napětí z výstupního obvodu prvního zesilovacího prvku od vstupu druhého zesilovacího prvku; střídavý, tj. zesílený signál však propouští.

Úkolem předzesilovačů je zesílení signálu na takovou velikost, jakou potřebujeme na vstupu výkonového zesilovače. Předzesilovače tedy zpracovávají poměrně malé signály na rozdíl od výkonových, tzv. koncových zesilovačů, na jejichž vstup přichází již signál z výstupu předzesilovacích stupňů, tj. signál poměrně velký. Proto se předzesilovací stupně vypočítávají jinak než koncové.

Zesílení předzesilovače osazeného vakuovými elektronkami a určeného pro střední kmitočty nízkofrekvenčního pásma vypočteme ze vztahu:

$$A = \frac{R_g}{R_g + R'} A_o,$$

kde

$$R' = \frac{R_i \cdot R_a}{R_i + R_a},$$

R_i je vnitřní odpor použité elektronky a

$$A_o = \mu \frac{R_a}{R_i + R_a}, \text{ přičemž}$$

μ je zesilovací činitel použité elektronky.

Zesílení A má zesilovač jen pro střední kmitočty nízkofrekvenčního pásma. Při nižších a vyšších kmitočtech jeho zesílení klesá. Jako dolní mezní kmitočet označujeme takový kmitočet signálu, při němž poklesne zesílení na 70 % zesílení při kmitočtech středních. Dolní mezní kmitočet vypočteme podle vztahu:

$$f_d \doteq \frac{1}{2\pi C_v R_g}.$$

Vycházíme-li z určitého dolního mezního kmitočtu, vypočteme pro něj potřebnou velikost vazebního kondenzátoru ze vztahu:

$$C_v \doteq \frac{1}{2\pi f_d R_g},$$

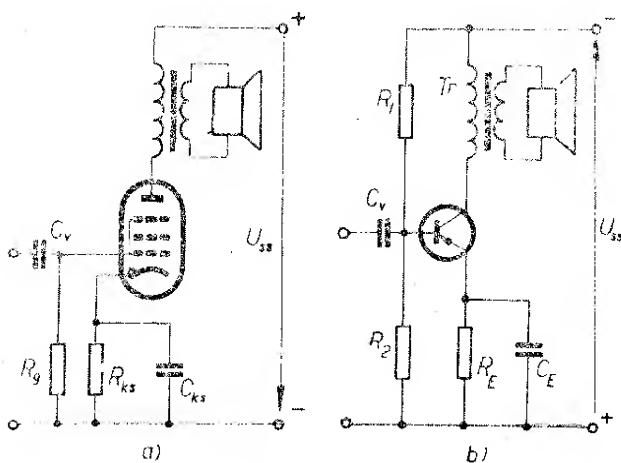
Horní mezní kmitočet je kmitočet, při němž poklesne zesílení na 70 % zesílení při kmitočtech středních. Horní mezní kmitočet vypočteme z rovnice:

$$f_h \doteq \frac{1}{2\pi C_g R_a},$$

kde C_g je kapacita daná součtem výstupní kapacity prvního zesilovacího prvku, kapacity zátěže a kapacity spojů. Bývá to několik málo desítek pF.

Pro výpočet zesílení předzesilovače osazeného vakuovými elektronkami se někdy používá zjednodušený vztah (zvláště tehdy, je-li malý anodový odpor R_a):

$$A \doteq S \cdot R_a.$$



Obr. 45.

Pro výpočet proudového zesílení tranzistorového předzesilovače pro střední kmitočty nízkofrekvenčního pásma A_{is} používá vztah:

$$A_{is} = \frac{R_C}{R_C + R_{vst}}, \text{ kde}$$

$$A_i = \frac{h_{21}}{h_{22}R_z + 1} \text{ a}$$

$$R_z = \frac{R_C R_{vst}}{R_C + R_{vst}}.$$

R_C je kolektorový odpor (obr. 44), R_{vst} je vstupní odpor druhého tranzistoru.

Dolní mezní kmitočet tranzistorového předzesilovače vypočteme ze vztahu:

$$f_d \doteq \frac{1}{2\pi C_v (R_C + R_{vst})}.$$

Pro požadovaný dolní mezní kmitočet vypočteme potřebnou velikost vazebního kondenzátoru:

$$C_v \doteq \frac{1}{2\pi f_d (R_C + R_{vst})}.$$

Velikost anodového odporu R_a u stupňů osazených vakuovou triodou se volí často v rozmezí $(3 \text{ až } 5)R_i$, u pentod $(0,1 \text{ až } 0,3)R_i$.

Příklad. – Nízkofrekvenční předzesilovač je osazen vakuovou elektronkou ECC82, pro kterou udává výrobce tyto hlavní hodnoty: $U_a = 250 \text{ V}$, $S = 2,2 \text{ mA/V}$, $R_i = 7,7 \text{ k}\Omega$, $\mu = 17$ (tyto hodnoty platí pro určitý pracovní bod). Chceme, aby zesilovač přenášel dobře ještě signál o kmitočtu $f_d = 30 \text{ Hz}$. Máme vypočítat:

a) potřebnou velikost vazebního kondenzátoru C_v ,

b) zesílení jednoho stupně (tj. jedné z obou triod sdruženého systému elektronky ECC82) při středních kmitočtech.

Do vztahu pro vazební kondenzátor dosadíme za R_g hodnotu mřížkového odporu elektronky druhého stupně; ten zvolíme podle údajů výrobce elektronky $R_g = 1 \text{ M}\Omega$. Velikost vazebního kondenzátoru vypočteme potom podle rovnice:

$$C_v \doteq \frac{1}{2\pi f_d R_g} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 30 \cdot 10^6} \doteq \doteq 5300 \text{ pF}.$$

Zvolíme nejbližší vyšší běžně vyráběnou hodnotu.

Při výpočtu zesílení v oblasti středních kmitočtů postupujeme takto:

$$R' = \frac{R_i \cdot R_a}{R_i + R_a} =$$

$$= \frac{7,7 \cdot 10^3 \cdot 30 \cdot 10^3}{7,7 \cdot 10^3 + 30 \cdot 10^3} \doteq 6,1 \text{ k}\Omega.$$

Anodový odpor jsme zvolili (vzhledem k tomu, že jde o triodu) podle doporučení $R_a \doteq (3 \text{ až } 5) R_i$, tj. $(3 \text{ až } 5) \cdot 7,7 \doteq 23 \text{ až } 38,5 \text{ k}\Omega$. Zvolili jsme $R_a = 30 \text{ k}\Omega$.

$$A_o = \mu \frac{R_a}{R_a + R_i} =$$

$$= 17 \frac{30 \cdot 10^3}{30 \cdot 10^3 + 7,7 \cdot 10^3} \doteq 13,5.$$

Pomocí vypočtených hodnot můžeme již určit zesílení stupně při středních kmitočtech jako:

$$A = \frac{R_g}{R_g + R'} \cdot A_o$$

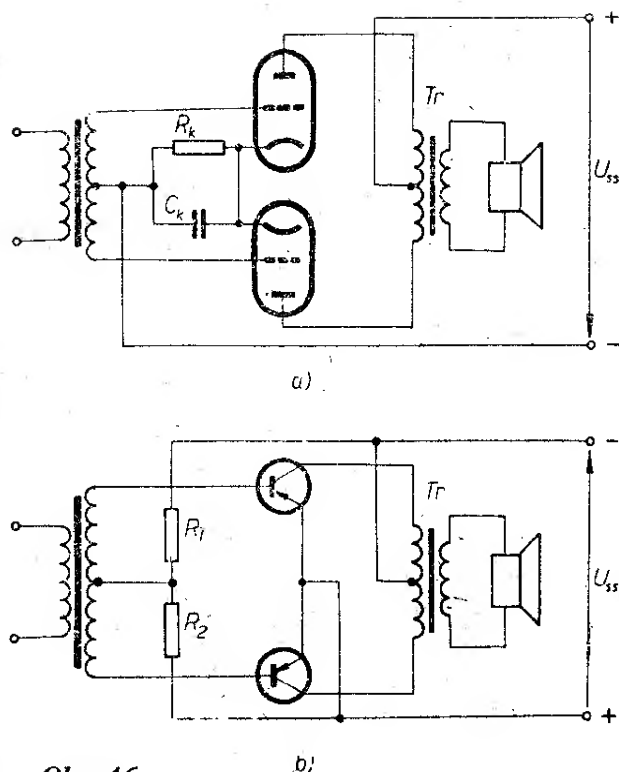
$$A = \frac{10^6}{10^6 + 6,1 \cdot 10^3} 13,5 \doteq 13,4.$$

To znamená, že výstupní signál stupně bude 13,4krát větší než vstupní signál.

Výstupní transformátory pro výkonové (koncové) nízkofrekvenční zesilovače

Za předzesilovacími stupni následuje téměř vždy výkonový zesilovač, který má do zátěže odevzdávat požadovaný výkon při co nejmenším zkreslení. Zátěží je zpravidla reproduktor, jehož odpor (4 až 5 Ω) je třeba přizpůsobit pracovnímu odporu elektronky nebo tranzistoru výstupním transformátorem. Jen v některých případech, např. je-li zatěžovací odpor reproduktoru přesně přizpůsoben pracovnímu odporu zesilovače osazeného tranzistorem, může výstupní transformátor odpadnout.

Příklady zapojení výkonových zesilovačů jsou na obr. 45 a 46. Jejich vstupní



Obr. 46.

obvod je buzen předzesilovačem přes člen RC, u dvojčinných zesilovačů někdy z budicího transformátoru. O volbě velikosti příslušných odporů a kapacit jsme již hovořili, uveďme si však ještě, jak se vypočítá výstupní transformátor.

Návrh výstupního transformátoru není snadný. Při návrhu jednoho kusu si však můžeme dovolit určitou ne hospodárnost ve spotřebě mědi nebo železa a připustit některá zjednodušení.

Ke stanovení velikosti jádra a počtu závitů potřebujeme znát tyto údaje:

1. Velikost anodového nebo kolektorového zatěžovacího odporu $R_{\text{prim}} = R_a$ u elektronky; u tranzistorů $= R_C$, (příp. R_{aa} nebo R_{CC} u dvojčinných stupňů).
2. Velikost stejnosměrného proudu, který bude protékat primárním vinutím I_{ss} .
3. Velikost přenášeného střídavého výkonu P .
4. Velikost sekundární zatěžovací impedance $Z = R_{\text{sek}}$.
5. Dolní mezní přenášený kmitočet f_d .
Potřebné údaje stanovíme podle těchto vztahů:

1. Průřez středního sloupku jádra

$$q_{Fe} = 20 \sqrt{\frac{P}{f_d}} \quad [\text{cm}^2; -, \text{W}, \text{Hz}].$$

Podle vypočteného průřezu zvolíme vhodné jádro. Předpokládá se použití jádra EI Tesla o tloušťce plechů 0,35 mm, u něhož se snadno nastavuje velikost vzduchové mezery (pokud je to třeba). Při volbě velikosti plechů a výšky vrstvy postupujeme jako při návrhu síťového transformátoru (str. 49).

2. Primární indukčnost

$$L_{\text{prim}} = \frac{R_{\text{prim}}}{2\pi f_d} \quad [\text{H}; \Omega, -, \text{H}].$$

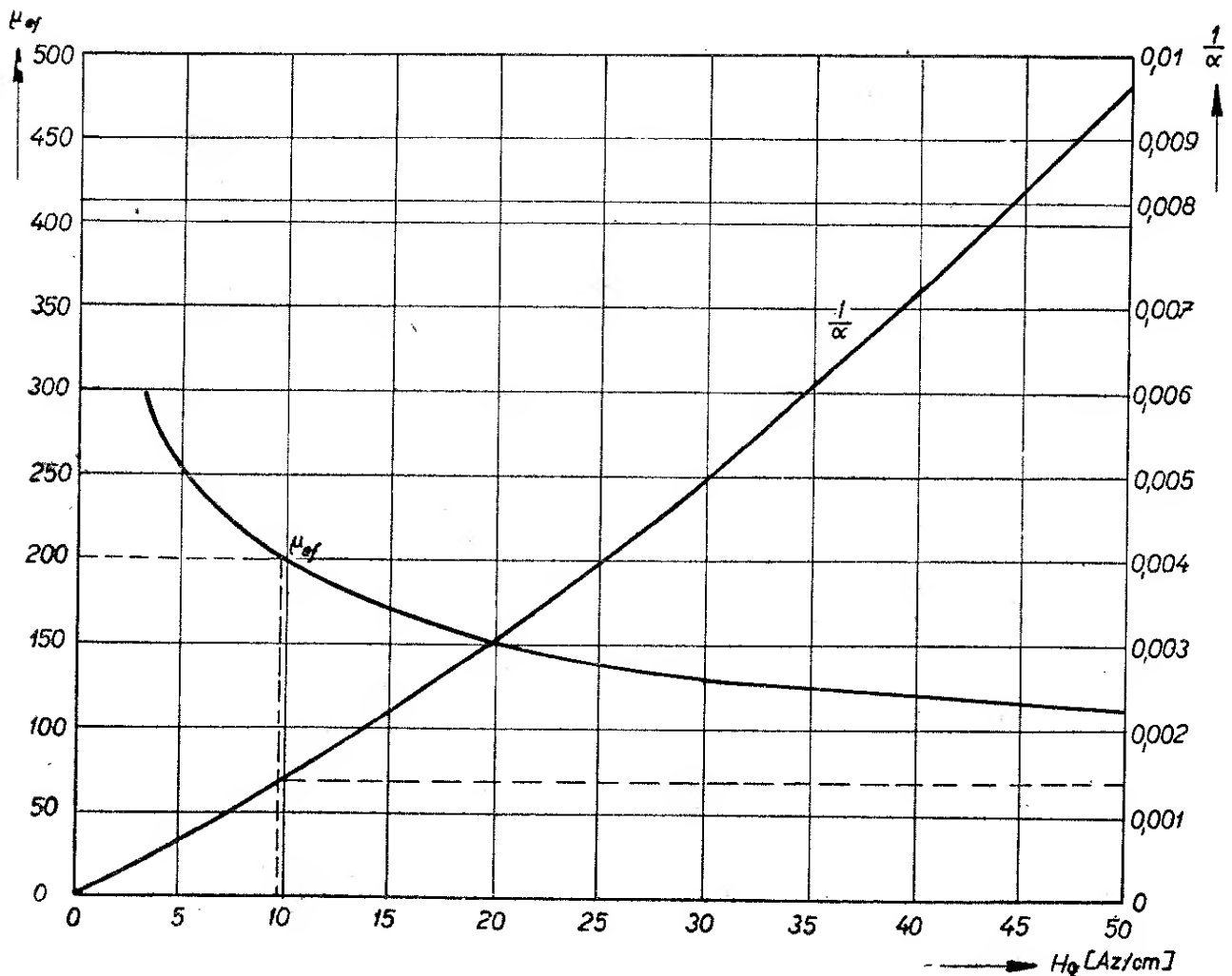
3. Střídavé napětí na primárním vinutí při plném vybuzení

$$U_{\text{stř}} = \sqrt{P \cdot R_{\text{prim}}} \quad [\text{V}; \text{W}, \Omega]$$

4. Počet primárních závitů (u jednočinných stupňů jenom předběžný)

$$n_{\text{prim}} = \frac{U_{\text{stř}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f_d \cdot q_{Fe} \cdot B_{\text{stř}}} \\ [-; \text{V}, -, \text{Hz}, \text{cm}^2, \text{T}],$$

kde $B_{\text{stř}}$ je střídavá magnetická indukce jádra. Dosazujeme za ni 0,2 až 0,4 T u jednočinných výkonových zesilovačů a 0,5 až 0,7 T u dvojčinných; tyto údaje platí pro plechy TN 1,3-0,35. Při větším sycení (magnetická indukce) nastává značné nelineární zkreslení. U dvojčinných stupňů vypočteme hned převodní poměr a počet závitů sekundárního vinutí podle bodu 10. U jednočinných, u nichž je jádro syceno současně střídavým i stejnosměrným proudem, pokračujeme řešením dalších vztahů.



Obr. 47.

5. Intenzitu magnetického pole (stejněsměrná předmagnetizace)

$$H_0 = \frac{I_{ss} \cdot n_{\text{prim}}}{l_{\text{Fe}}} \quad [\text{Az/cm; A, —, cm}].$$

6. Šířku vzduchové mezery

$$l_v = l_{\text{Fe}} \cdot \frac{1}{a} \quad [\text{cm; —, cm, —}].$$

Za výraz $\frac{1}{a}$ dosadíme z grafu údaj vyhledaný na svislé ose vpravo a odpovídající velikosti H_0 .

7. Efektivní permeabilitu materiálu jádra μ_{ef} , potřebnou pro upřesnění počtu závitů, vyhledáme v grafu na obr. 47 na svislé ose vlevo podle velikosti H_0 .

8. Oprava počtu primárních závitů (pro jednočinná zapojení)

$$n_{\text{prim}} = \sqrt{\frac{L_{\text{prim}} \cdot l_{\text{Fe}} \cdot 10^8}{0,4\pi \cdot q_{\text{Fe}} \cdot \mu_{\text{ef}}}} \quad [—; \text{H, cm, —, —, —, cm}^2, —].$$

9. Upřesnění H_0 , l_v , μ_{ef} podle vzorců a grafu (podle bodů 5, 6 a 7). Projevují-li se podstatnější rozdíly, musíme ještě jednou přepočítat n_{prim} podle vztahu pod bodem 8.

10. Nyní zbývá už jen zjistit převodní poměr transformátoru a počet závitů sekundárního vinutí

$$p = \sqrt{\frac{R_{\text{prim}}}{R_{\text{sek}}}} \quad [—; \Omega, \Omega],$$

$$n_{\text{sek}} = \frac{n_{\text{prim}}}{p} \quad [—; —, —].$$

S ohledem na ztráty zvětšíme u transformátoru pro dvojčinné stupně počet sekundárních závitů o 5 až 10 %, u jednočinných o 10 až 15 %.

11. Průměr drátu obou vinutí vypočítáme takto: plochu okénka pro vinutí (po odečtení plochy, kterou zabere tělísko cívky) rozdělíme na dvě části; 60 % bude určeno pro primární, 40 % pro sekundární vinutí. Protože obě plochy mají být zcela vyplněny vinutím,

odhadneme průměr drátu z poměru přidělené plochy okénka k počtu závitů. Postupujeme tak, že nejdříve počet primárních a potom sekundárních závitů dělíme přidělenou částí plochy okénka P_0 a tím zjistíme počet závitů na 1 cm² plochy.

Tedy:

$$n/1 \text{ cm}^2 = \frac{n_{\text{prim}}}{0,6 P_0} \quad [—; —, \text{cm}^2],$$

$$n/1 \text{ cm}^2 = \frac{n_{\text{sek}}}{0,4 P_0} \quad [—; —, \text{cm}^2].$$

V tabulce 5 pak vyhledáme k danému počtu závitů na cm² průměr drátu. Navinuté tělísko cívky plníme plechy. U transformátorů pro jednočinný zesilovač vkládáme plechy E z jedné strany, stejnou vrstvu I přiložíme z druhé strany. Vložením přiměřeně tlusté vrstvičky papíru vymežíme polovinu vzduchové mezery

$$\frac{l_v}{2}.$$

- I. *příklad výpočtu.* — Máme navrhnout výstupní transformátor pro jednočinný zesilovač s elektronkou EL84. Potřebné údaje $R_a = R_{\text{prim}} = 5200 \Omega$, $I_{ss} = 48 \text{ mA}$, $P = 5,7 \text{ W}$, $f_d = 50 \text{ Hz}$, $R_{\text{sek}} = 5 \Omega$.

$$1. q_{\text{Fe}} = 20 \sqrt{\frac{P}{f_d}} = 20 \sqrt{\frac{5,7}{50}} \doteq 6,8 \text{ cm}^2.$$

Zvolíme plechy EI TN 1,3 — 0,35 o šířce středního sloupku 32 mm a vrstvu plechů 25 mm; efektivní $q_{\text{Fe}} = 7,2 \text{ cm}^2$, $l_{\text{Fe}} = 17,8 \text{ cm}$, plocha okénka = 7,7 cm².

$$2. L_{\text{prim}} = \frac{R_{\text{prim}}}{2\pi f_d} = \frac{5200}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} \doteq 16,5 \text{ H}.$$

$$3. U_{\text{stř}} = \sqrt{P \cdot R_{\text{prim}}} = \sqrt{5,7 \cdot 5200} \doteq 172 \text{ V}.$$

$$4. n_{\text{prim}} = \frac{U_{\text{stř}} \cdot 10^4}{4,44 \cdot f_d \cdot q_{\text{Fe}} \cdot B_{\text{stř}}} = \frac{172 \cdot 10^4}{4,44 \cdot 50 \cdot 7,2 \cdot 0,3} \doteq 3600 \text{ závitů}.$$

$$5. H_0 = \frac{I_{ss} \cdot n_{\text{prim}}}{l_{\text{Fe}}} = \frac{0,048 \cdot 3600}{17,8} \doteq 9,7 \text{ Az/cm}.$$

6. $l_v = l_{Fe} \cdot \frac{1}{a} = 17,8 \cdot 0,0014 = 0,025 \text{ cm} = 0,25 \text{ mm}.$
7. Pro 9,7 Az/cm je podle grafu na obr. 47 $\mu_{ef} = 200.$

8. Opravený $n_{prim} = \sqrt{\frac{L_{prim} \cdot l_{Fe} \cdot 10^8}{0,4\pi \cdot q_{Fe} \cdot \mu_{ef}}} = \sqrt{\frac{16,5 \cdot 17,8 \cdot 10^8}{0,4 \cdot 3,14 \cdot 7,2 \cdot 200}} = 4040 \text{ závitů}.$

9. Přepočteme-li podle tohoto nově zjištěného počtu závitů znovu H_0 a μ_{ef} , dostaneme poněkud pozměněné hodnoty: $H_0 = 10,9$ a $\mu_{ef} = 190.$ Také l_v se nepatrně zvětší. Po dalším přepočtení n_{prim} nám vyjde definitivní počet závitů 4160. Je-li rozdíl výpočtů podle bodu 4 a 8 menší než 10 %, není třeba n_{prim} podruhé přepočítávat.

10. $p = \sqrt{\frac{R_{prim}}{R_{sek}}} = \sqrt{\frac{5200}{5}} = 32;$

z toho $n_{sek} = \frac{n_{prim}}{p} = \frac{4160}{32} = 130 \text{ závitů}.$

Ztráty vyrovnáme přidáním 10 % závitů, takže konečný počet sekundárních závitů bude 143.

11. Po odečtení plochy, kterou v okénku zabere tělísko cívky, zbývá na vinutí plocha $P_0 = 5,1 \text{ cm}^2$, z toho polovina na primární, polovina na sekundární. Stanovíme, že pro primár $n/1 \text{ cm}^2 =$

$= \frac{n_{prim}}{0,6P_0} = \frac{4160}{3} = 1400 \text{ závitů a}$

pro sekundár $n/1 \text{ cm}^2 = \frac{n_{prim}}{0,4P_0} =$

$= \frac{143}{2} = 71 \text{ závitů}.$

Podle tabulky 5 zvolíme pro primár drát o \varnothing 0,18 až 0,2 mm a pro sekundár o \varnothing 1 mm. Kdyby se nedostávalo místa, je možné změnit průměr drátu pro sekundární vinutí až na 0,8 mm. Je účelné rozdělit sekundární vinutí do dvou sekcí po 143 závitech spojených paralelně. Jedna je pod a druhá nad primárním vinutím. V tomto případě stačí průměr drátu 0,6 až 0,7 mm. Rozdělením sekundáru do dvou vinutí se zmenší rozptylová indukčnost a zlepši se přenos vysokých

tónů. Navinutou cívku plníme jen plechy E, které vkládáme z jedné strany; z druhé strany pak přiložíme vrstvu plechů I po vymezení vzduchové mezery $l_v/2 = 0,12 \text{ mm}.$

- II. příklad výpočtu. – Máme navinout transformátor pro dvojčinný koncový stupeň zesilovače s tranzistory 2-0C72.

Potřebné údaje: $R_{CC} = R_{prim} = 110 \Omega$, $P = 0,3 \text{ W}$, $f_d = 60 \text{ Hz}$, $R_{sek} = 4 \Omega.$

1. $q_{Fe} = 20 \sqrt{\frac{P}{f_d}} = 20 \sqrt{\frac{0,3}{60}} = 1,4 \text{ cm}^2.$

Zvolíme plechy EI TN 1,3 — 0,35 o šířce středního sloupku 1,2 cm a tloušťce vrstvy 1,25 cm, efektivní $q_{Fe} = 1,35 \text{ cm}^2$, $l_{Fe} = 7,1 \text{ cm}$, plocha okénka $= 0,98 \text{ cm}^2.$

2. $L_{prim} = \frac{R_{prim}}{2\pi f_d} = \frac{110}{2 \cdot 3,14 \cdot 60} = 0,29 \text{ H}.$

3. $U_{stř} = \sqrt{P \cdot R_{prim}} = \sqrt{0,3 \cdot 110} = 5,75 \text{ V}.$

4. $n_{prim} = \frac{U_{stř} \cdot 10^4}{4,4 \cdot f_d \cdot q_{Fe} \cdot B_{stř}} = \frac{5,75 \cdot 10^4}{4,44 \cdot 60 \cdot 1,35 \cdot 0,5} = 320 \text{ závitů}$
s odbočkou uprostřed.

10. $p = \sqrt{\frac{R_{prim}}{R_{sek}}} = \sqrt{\frac{110}{4}} = 5,25; \text{ z toho}$

ho $n_{sek} = \frac{n_{prim}}{p} = \frac{320}{5,25} = 61 \text{ závitů}.$

Tento počet zvětšíme o 10 % a stanovíme $n_{sek} = 67 \text{ závitů}.$

11. Po odečtení plochy, kterou v okénku zabere tělísko cívky, zbývá na vinutí $0,56 \text{ cm}^2$. Počet závitů na 1 cm^2 plochy

je u primáru $n/1 \text{ cm}^2 = \frac{n_{prim}}{0,6P_0} =$

$= \frac{320}{0,6 \cdot 0,56} = 950 \text{ závitů, u sekun-}$

dáru $n/1 \text{ cm}^2 = \frac{n_{sek}}{0,4P_0} = \frac{67}{0,4 \cdot 0,56} = 300 \text{ závitů}.$

Podle tabulky 5 stanovíme \varnothing drátu pro primární vinutí 0,25 mm, pro sekundární vinutí 0,5 mm (stačí i 0,4 mm). Plechy vkládáme střídavě.

Oscilační obvod

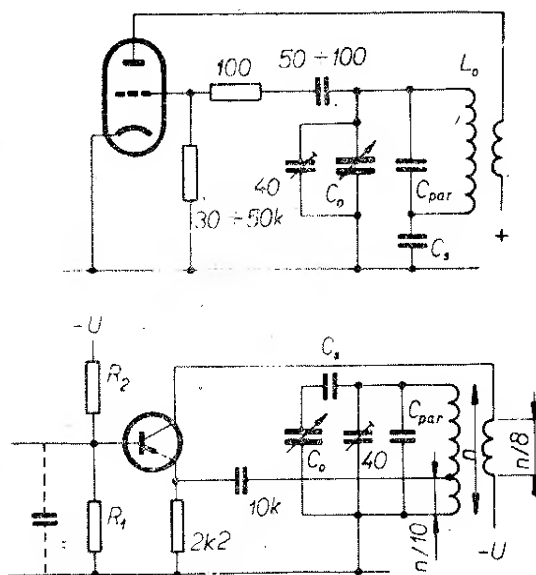
Podstatnou součástí většiny oscilátorů je kmitavý obvod, který tvoří cívka o indukčnosti L a kondenzátor o kapacitě C . Tento obvod určuje v rozhodující míře kmitočet signálu, který bude oscilátor generovat. Tento tzv. rezonanční kmitočet vypočítáme ze vztahu:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [\text{Hz}; \text{H}, \text{F}].$$

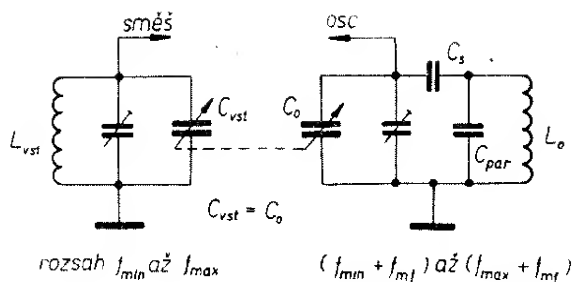
Pro praktické výpočty je tento základní tvar rovnice nepohodlný, protože do něj musíme dosazovat v základních jednotkách, s nimiž se u běžných rezonančních obvodů nesetkáváme. Proto používáme často pro výpočty upravený vzorec, do něhož dosazujeme v běžnějších jednotkách:

$$f_r^2 = \frac{25\,330}{LC} \quad [\text{MHz}; \mu\text{H}, \text{pF}].$$

Pro rychlý výpočet rezonančního kmitočtu je vhodný nomogram 12a a 12b na str. 16, 17. Ukážeme si jeho použití na číselném příkladě. Oscilační obvod je složen z kondenzátoru o kapacitě $C = 100 \text{ pF}$ a z cívky o indukčnosti $L = 20 \mu\text{H}$; potřebujeme určit rezonanční kmitočet f_r tohoto obvodu. Přibližný výsledek určíme pomocí nomogramu z obr. 12a. Vyhledáme políčko, v němž se protí-



Obr. 48.



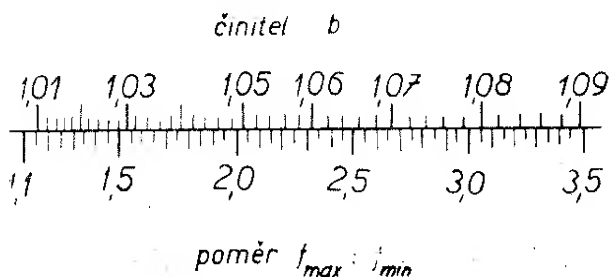
Obr. 49.

nají šikmé přímký nomogramu, odpovídající našim hodnotám C a L ; je to v našem případě čtvrté políčko ve třetím sloupci zprava. Na spodní vodorovné stupnici čteme, že výsledný kmitočet bude mezi 1 MHz a 10 MHz. Přesnější výsledek odečteme z nomogramu na obr. 12b jako $f_r \doteq 3,57 \text{ MHz}$.

Všimněme si ještě některých běžných oscilátorů, které se v radioamatérské praxi často vyskytují.

Oscilátor rozhlasového přijímače

Zapojení oscilátorů běžných v rozhlasových přijímačích – superhetech – je na obr. 48. Podstatnou částí návrhu takových oscilátorů je výpočet kmitavého obvodu L_0 , C_0 . Tento obvod musí být v tzv. souběhu se vstupním laděným obvodem přijímače (obr. 49). Dokonalý souběh obou obvodů v celém kmitočtovém rozsahu není dosažitelný. V praxi se obvykle nastavuje souběh přesně na třech kmitočtech f_1 , f_2 , f_3 kmitočtového rozsahu, přičemž odchylky, které nastávají od ideálního souběhu při ostatních kmitočtech, se zanedbávají, protože nejsou prakticky na závadu. Kmitočty souběhu lze stanovit např. z grafu na obr. 50 a těchto rovnic:



Obr. 50.

$$f_1 = b \cdot f_{\min},$$

$$f_2 = \sqrt{f_{\max} \cdot f_{\min}},$$

$$f_3 = \frac{f_{\max}}{b},$$

kde f_{\max} a f_{\min} jsou krajní kmitočty pásma, které má přijímač v daném vlnovém rozsahu obsáhnout; b je konstanta vyhledaná na grafu (obr. 50).

Pro vyhledání potřebné indukčnosti L_o cívky kmitavého obvodu musíme nejdříve zjistit indukčnost cívky vstupního obvodu L_{vst} .

Při výpočtu indukčnosti vstupní cívky L_{vst} vycházíme z nejnižšího kmitočtu f_{\min} pásma a z maximální kapacity ladicího kondenzátoru vstupního obvodu C_{vst} . K ní připočteme další kapacity (kapacity spojů, elektronky, cívky, poloviny doladovacího trimru, transformovanou kapacitu antény) – ty lze u středovlnného rozsahu odhadnout přibližně na 60 pF. K těmto veličinám vyhledáme

příslušnou indukčnost vstupní cívky L_{vst} v nomogramu na obr. 12a a 12b (postup jsme již popsali).

Pak již můžeme určit potřebnou indukčnost L_o cívky kmitavého obvodu oscilátoru. Vypočteme ji z rovnice:

$$L_o = k \cdot L_{vst}.$$

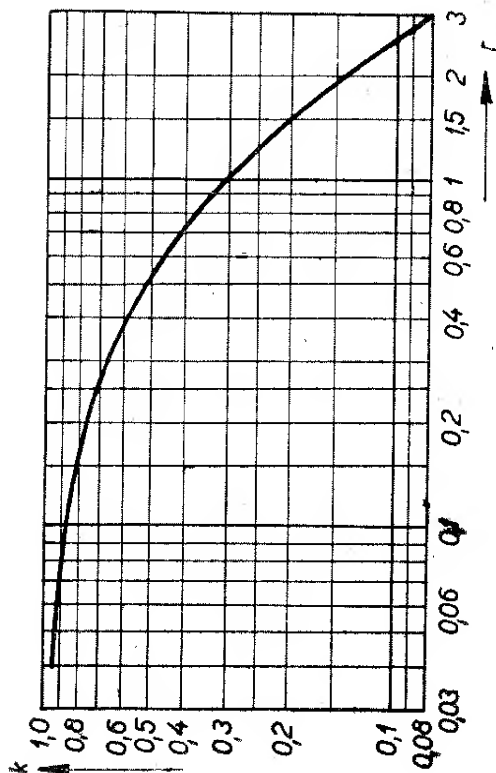
Činitel k zjistíme z grafu na obr. 51 podle poměru $\frac{f_{mf}}{f_{stř}}$, tj. poměru mezifrekvenčního kmitočtu přijímače a středního kmitočtu příslušného vlnového rozsahu:

$$f_{stř} = \frac{f_{\max} + f_{\min}}{2}.$$

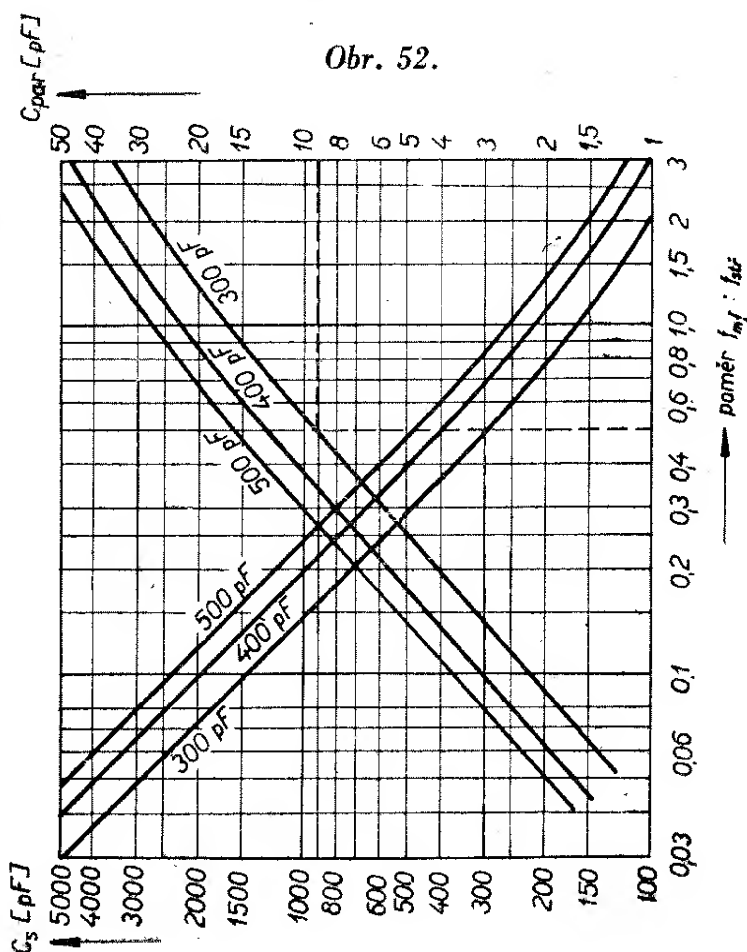
Velikost kapacity ladicího kondenzátoru předpokládáme stejnou jako u ladicího kondenzátoru vstupního obvodu (duál); $C_{vst} = C_o$.

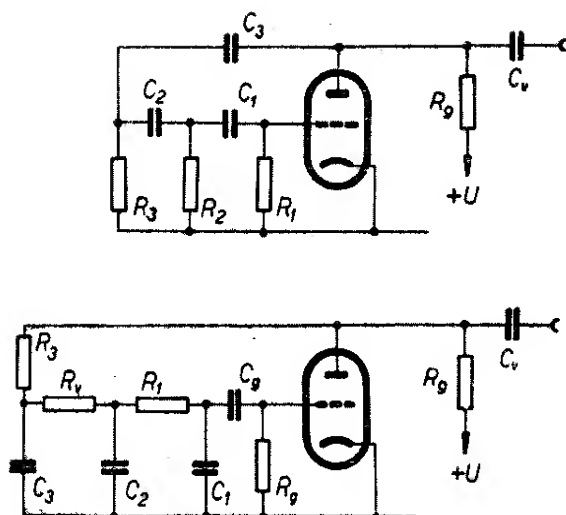
Do série s ladicím kondenzátorem kmitavého obvodu oscilátoru C_o se zapojuje ještě kondenzátor C_s , jímž se

Obr. 51.

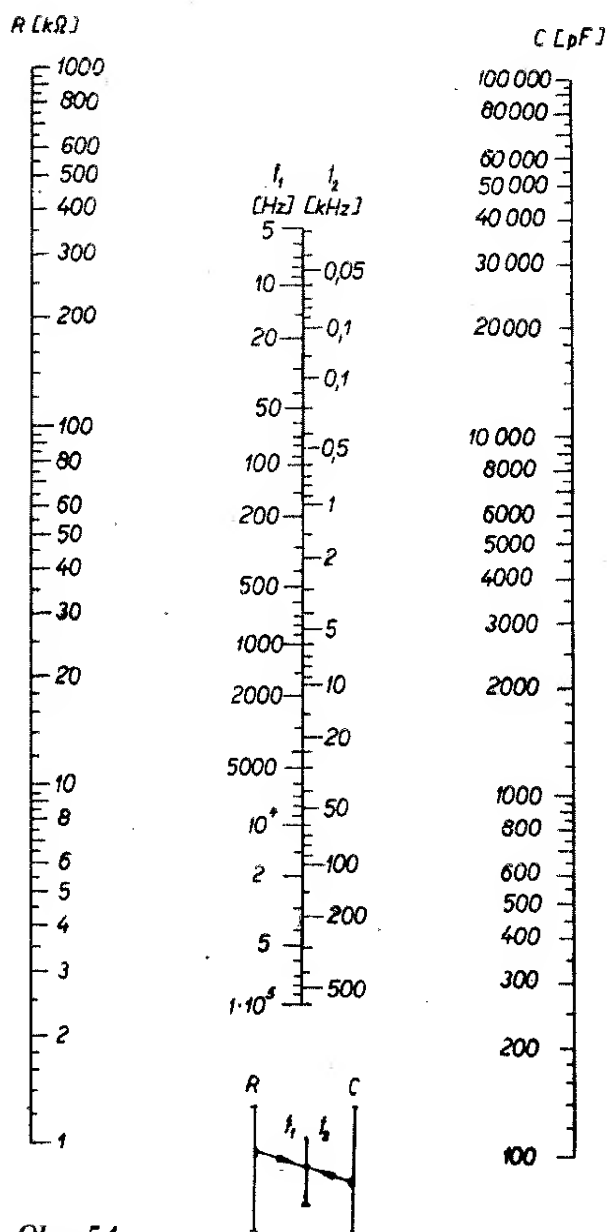


Obr. 52.





Obr. 53. (Chybně $R_v = R_2$, $R_g = R_a$)



Obr. 54.

upravuje poměr $f_{\max} : f_{\min}$ kmitavého obvodu oscilátoru tak, aby odpovídal poměru krajních kmitočtů vstupního kmitavého obvodu. Potřebnou kapacitu kondenzátoru C_s vyhledáme v nomogramu na obr. 52 podle poměru $\frac{f_{mf}}{f_{stř}}$, který

je vynesena na vodorovné ose. V témže nomogramu najdeme i potřebnou kapacitu kondenzátoru C_{par} , jíž se zhruba nastavuje horní okraj kmitočtového pásma.

Po skutečném zapojení těchto obvodů přijímače je třeba je sladit; postup najdete např. v příručce ing. J. T. Hyana: Měření a sladování amatérských přijímačů.

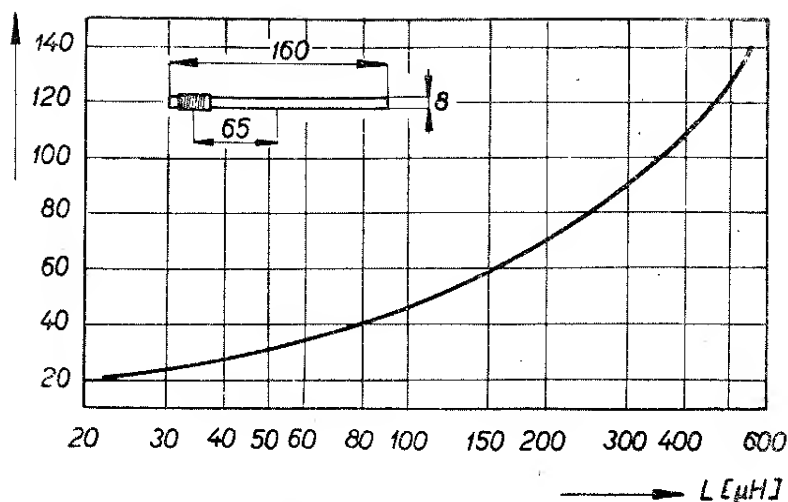
Jednoduchý oscilátor RC

Kromě oscilátorů, jejichž kmitočet určuje kmitavý obvod LC , setkáváme se v praxi i s oscilátory, jejichž kmitočet určují obvody složené z odporů a kondenzátorů, tzv. oscilátory RC . Dvě zapojení takových oscilátorů kmitů sinusového průběhu (jsou vhodné jako zdroj nízkofrekvenčních signálů až ke kmitočtům řádu stovek kHz) jsou na obr. 53. Pracovní kmitočet těchto oscilátorů lze zjistit z nomogramu na obr. 54, v němž $R = R_{1,2,3}$ a $C = C_{1,2,3}$.

Antény

Feritová anténa

Téměř všechny rozhlasové přijímače jsou pro příjem středních a dlouhých vln vybavovány feritovými anténami. Potřebujeme-li navrhnout vstupní obvod přijímače nebo chceme-li některý ze starších typů přijímačů vybavit feritovou anténou, potřebujeme především znát počet závitů cívky a její polohu na tyčce. Poslouží nám k tomu diagram na obr. 55, v němž pro zvolenou indukčnost najdeme počet závitů i vzdálenost mezi středy cívky a tyčky. Diagram však platí jen pro feritovou tyčku o délce 160 mm a o \varnothing 8 mm z materiálu N2. Tělísko cívky zhotovíme z kladívkového nebo jiného kreslicího papíru, aby tloušťka stěny trubičky byla co nejmenší. K vinutí použijeme

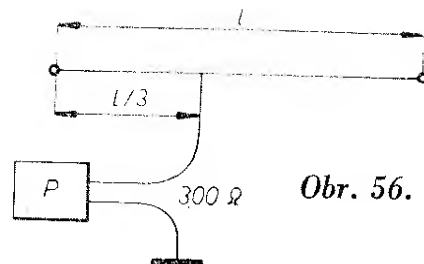


Obr. 55.

slabé vysokofrekvenční lanko nebo drát o \varnothing 0,15 až 0,25 mm, izolovaný hedvábím. Stanovený počet závitů navineme v jedné vrstvě závit vedle závitů. Konec drátu přichytíme k tělísku voskem. Celé vinutí pak můžeme napustit epoxidovým nebo zaponovým lakem. Máme-li jinou feritovou tyčku, navineme zkusmo asi 80 závitů drátu a pak měřičem rezonance nastavíme potřebnou indukčnost. Postupujeme takto: k cívice, kterou nasuneme na feritovou tyčku a umístíme středem vinutí asi 15 až 20 mm od okraje, připojíme paralelně slídový kondenzátor 200 nebo 300 pF, předem přesně změřený. Potom měřičem rezonance ověříme rezonanční kmitočet takto improvizovaného oscilačního obvodu. Z něho a z kapacity kondenzátoru pak zjistíme podle nomogramu na obr. 12a, 12b hledanou indukčnost cívky. Nevyhovuje-li, odvineme část závitů a znovu zkontrolujeme rezonanční kmitočet, až se dostaneme na potřebnou indukčnost (180 až 200 μ H pro střední vlny při $C_{vst} \doteq 480$ až 500 pF).

Tab. 7.

Pásmo	Kanál	Střední kmitočet f_s [MHz]	Střední vln. délka λ [m]	$\frac{\lambda}{2}$ [m]	$\frac{\lambda}{4}$ [m]
I.	1	53	5,66	2,83	1,41
II.	2	62	4,85	2,42	1,21
III.	6 až 12	200	1,50	0,75	0,37
VKV rozhlas	—	69,5	4,32	2,16	1,08



Obr. 56.

Při sladování přijímače měníme indukčnost feritové antény posouváním cívky po tyčce. Její nejvhodnější poloha je asi 15 až 20 mm od okraje tyčky, kde je oproti poloze uprostřed tyčky indukčnost sice asi o čtvrtinu menší, ale Q cívky je naproti tomu asi o čtvrtinu větší. Umísťujeme-li na stejnou tyčku dlouhovlnnou nebo krátkovlnnou cívku, dáváme ji na opačný konec. U tranzistorových přijímačů je vazební cívka asi o třech závitech, navinutá těsně vedle hlavní cívky.

Anténa pro příjem na krátkých vlnách

Pro poslech vzdálených rozhlasových stanic z jiných kontinentů je nutná dokonalejší anténa než kus drátu natažený v pokoji a připojený na těleso ústředního topení. Jednoduchá anténa vhodná pro tento účel je na obr. 56. Je známá pod názvem Windom a její předností je, že místo sousého kabelu nebo dvojitého

vedení k propojení na přijímač stačí jednodrátový napáječ, připojený k anténě v bodě, v němž je její impedance přibližně 300 Ω. Délka antény se vypočítá ze vzorce:

$$l = \frac{142\,500}{f_0} \quad [\text{m}; \text{—}, \text{kHz}]$$

kde f_0 je kmitočet přibližně ve středu pásma, na němž chceme přijímat. Její výhodou je také to, že rezonuje i na násobcích základního kmitočtu, takže jeho vhodnou volbou je možné dosáhnout, aby anténa byla použitelná i pro několik rozhlasových nebo amatérských pásem. Takovým základním kmitočtem pro poslech na rozhlasových pásmech krátkých vln je 3100 až 3200 kHz, jehož násobky padnou téměř do všech rozhlasových krátkovlnných pásem. Nevýhodou však je, že délka antény je značná a potřebný prostor není všude k dispozici.

Antény pro velmi krátké vlny

Na rozdíl od středních a krátkých vln, k jejichž běžnému poslechu stačí zpravidla drát libovolné délky, musíme při konstrukci antény pro VKV dodržovat předepsané rozměry.

Proto si vysvětlíme, jak je třeba postupovat při návrhu nejrozšířenějšího typu televizní antény – půlvlnného dipólu, který má své oprávnění i pro dobrý příjem FM rozhlasu. Používají se dva druhy dipólů: jednoduchý a skládaný. Najdeme je na obr. 57, kde jsou kromě jednoduchého dipólu (a) ještě dva dipóly skládané. Jeden je zhotoven ve formě smyčky z trubky stejného průměru (b), druhý je složen ze dvou trubek o různém průměru, které jsou na koncích vodivě spojeny (c). Délka dipólu se stanoví ze vzorce

$$l = k \cdot \frac{\lambda}{2} \quad [\text{m}; \text{—}, \text{m}],$$

kde je l délka celého dipólu (lhostejno zda jednoduchého nebo skládaného),

k zkracovací činitel stanovený podle poměru $\frac{\lambda}{2} : d$,

$\frac{\lambda}{2}$ polovina vlnové délky, uvedená pro televizní kanály v tab. 7.

K vyhledání zkracovacího činitele, který přečteme na svislé stupnici vlevo, použijeme nomogram na obr. 58. Na jeho vodorovné ose vyhledáme číslo, odpovídající poměru poloviny vlnové délky a průměru trubky, z níž má být dipól zhotoven. Obě veličiny $\lambda/2$ i d dosazujeme ve stejných jednotkách (m, dm, cm). Dalšími důležitými charakteristickými veličinami jsou šířka pásma a vstupní odpor antény. Dostatečné šířky pásma dosáhneme použitím trubek místo drátu a zejména se skládaným dipólem. Vstupní odpor antény je veličina, kterou musíme respektovat při připojení vedení, jímž přivádíme vysokofrekvenční signál z antény do přijímače. Největší je u skládaného dipólu a nejmenší u jednoduchého dipólu. Jeho přesnou velikost můžeme určit pomocí grafu, který jsme použili pro stanovení činitele k . Vstupní odpor, závislý rovněž na poměru $\lambda/2 : d$, čteme na svislé stupnici vpravo. Údaj platí pro jednoduchý dipól (a); pro skládaný dipól (b) jej násobíme čtyřmi. V širokém rozsahu je možné vstupní odpor měnit, sestavíme-li skládaný dipól z trubek různého průměru. Nomogram na obr. 59 ukazuje, že volbou vhodného poměru $d_2 : d_1$ a také $S : d_2$ je možné dosáhnout libovolné hodnoty mezi dvojnásobkem a osminásobkem vstupního odporu jednoduchého dipólu.

Chceme-li dosáhnout maximální účinnosti, musí být splněna podmínka dokonalého impedančního přizpůsobení na obou koncích vedení, tj. u antény i u přijímače. Ideální přenos je tedy za takových podmínek, kdy vstupní odpor antény se rovná impedanci vedení i vstupnímu odporu přijímače. Dále je třeba dodržet zásadu, že na symetrický výstup antény nelze připojit nesymetrické souosé vedení, i když má stejnou impedanci, popřípadě že symetrické vedení nelze připojovat na nesymetrický vstup přijímače. Z praxe známe různé druhy vedení. Jsou to jednak nesouměrné souosé (koaxiální) kabely, souměrné stíněné i

nestíněné dvou vodiče a souměrná vzdušná vedení. K odhadu impedance neznámých sousosých kabelů poslouží nomogram na obr. 60. Vyhledáme-li na vodorovné ose dílek vyjadřující poměr $D : d$, tj. průměr vodivého pláště k průměru vnitřního vodiče, najdeme v průsečíku kolmice vztyčené na vodorovné ose v určeném bodě a přímkou označené dielektrickou konstantou izolantu, kterým je vyplněn vnitřek kabelu, další vodorovnou přímkou, k níž na svislé stupnici vlevo čteme velikost impedance neznámého kabelu. Dielektrické konstanty některých izolačních hmot jsou v tab. 8.

Stejným postupem můžeme z dalšího nomogramu na obr. 61 navrhnout rozteč D a průměr drátů d pro vzdušné vedení o potřebné impedanci.

Nakonec ještě čtyři zapojení symetrizačních a transformačních členů pro případy, kdy chceme připojit nesouměrný napáječ na souměrnou anténu, nebo transformovat impedanci vedení na větší nebo menší hodnotu. Na obr. 62a je nesouměrné sousosé vedení o shodné impedanci připojeno na souměrný výstup jednoduchého dipólu; symetrizace je řešena kouskem téhož kabelu délky $\lambda/4$, zkrácené podle velikosti činitele rychlosti šíření v . Podobný způsob je na obr. 62b jen s tím rozdílem, že čtvrtvlnný kus kabelu je na obou koncích spojen dokrátka a na spodním konci je připojen na vnější vodič přívodního kabelu. Mezera m je asi 2 až 3 cm. Na obr. 62c, d jsou ukázky transformátorů, které převádějí odpor antény z menšího na větší (c) nebo z většího na menší (d); v posledním případě se souměrný výstup z antény ještě přizpůsobuje k nesouměrnému sousosému kabelu. Mezera m je 40 mm. Délky transformačních úseků jsou patrné

z obrázku. Je třeba jen ještě dodat, že velikost činitele rychlosti šíření v , jímž násobíme stanovenou délku transformačního úseku ($\frac{\lambda}{4}$ nebo $\frac{\lambda}{2}$), je u sousosých kabelů 0,66 a u páskových dvou vodičů 0,82.

Literatura

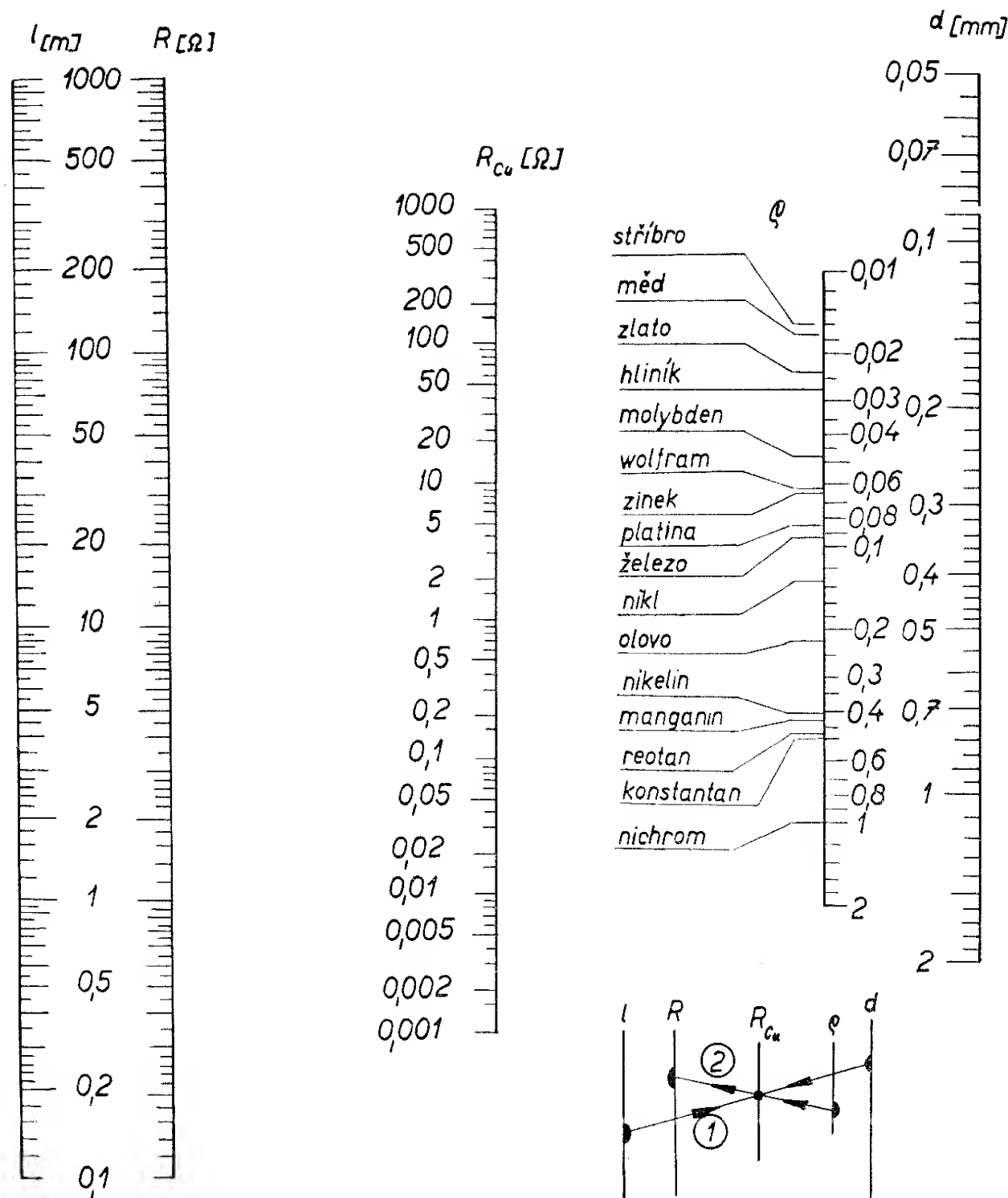
- [1] Pacák, M.: Fysikální základy radiotechniky, dí I. a II. Orbis 1940 a 1946.
- [2] Melezínek-Pech: Elektronika (učebnice pro SPŠE). SNTL 1965.
- [3] Kábele, Hrnák, Melezínek: Vysokofrekvenční technika (učebnice pro SPŠE). SNTL 1966.
- [4] Schubert, K. H.: Velká příručka radioamatéra. Naše vojsko 1966.
- [5] Mazel, K. B.: Usměrňovače a stabilizátory na pět. SNTL 1953.
- [6] Melezínek, A.: Napájecí zdroje pro elektronická zařízení. SNTL 1966.
- [7] Konašinskij, D. A.: Elektrické filtry. SNTL 1955.
- [8] Pohanka, J.: Stavba síťových transformátorů. SNTL 1960.
- [9] Gerasimov, S. M.: Výpočet amatérských rádiových přijímačů. SNTL 1954.
- [10] Slezák, L.: Výstupní transformátory. SNTL 1964.
- [11] Donát, K.: Příručka pro konstruktéry radioamatérů. SNTL 1961.
- [12] Rothammel, K.: Antennenbuch. Verlag Sport und Technik, Neuenhagen bei Berlin. 2. vyd. 1960.
- [13] Nentwig, K.: Nomogramme. Deutschliterarisches Institut, J. Schneider, Berlin - Tempelhof 1941.
- [14] Lange, H.: Funktechnische Nomogramme. Fachbuchverlag Leipzig 1959.
- [15] Rodionov, V. M.: Sborník nomogramů po radiotechnice. Sovětskoje radio, Moskva 1955.
- [16] Spravočník radioljubitelja. Gosenergoizdat Moskva, 2. vyd. 1958. Izdatelstvo Tehnika Kiev, 5 vyd. 1965.
- [17] The Radioamateur's Handbook. The American Radio Relay League 1966.
- [18] Handbuch für Hochfrequenz- und Elektrotechniker. Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik, GMBH Berlin, III. vyd. 1955.
- [19] Kalendář sdělovací techniky. SNTL, roč. 1960 až 1967.
- [20] Telefunken Laborbuch. Franzis Verlag, München, 5. vyd. 1962.
- [21] Amatérská radiotechnika. Naše vojsko 1954.
- [22] Časopisy: Amatérské radio, roč. 1966 a 1967. Sdělovací technika 7 a 10/66, Radio und Fernsehen 1/67, Funkamateur, roč. 1966, 1967.

RADIOVÝ KONSTRUKTÉR

— vydává Svazarm ve Vydavatelství časopisů MNO, n. p., Praha, Vladislavova 26, telefon 234355—7. ● Šéfredaktor ing. František Smolík, zástupce Lubomír Březina ● Redakce Praha 2, Lublaňská 57, tel. 223630 ● Redakční rada: A. Anton, K. Bartoš, ing. J. Čermák, K. Donát, V. Hes, ing. L. Hloušek, A. Hofhans, Z. Hradiský, ing. J. T. Hyan, K. Krbec, A. Lavante, K. Novák, ing. J. Nováková, ing. O. Petráček, dr. J. Petránek, K. Pytner, J. Sedláček, M. Sviták, J. Vackář, ing. V. Vildman ● Ročně vyjde 6 čísel. Cena výtisku 3,50 Kčs, pololetní předplatné 10,50 Kčs, roční předplatné 21,— Kčs ● Rozšiřuje PNS, v jednotkách ozbrojených sil VČ MNO — administrace, Praha 1, Vladislavova 26. Objednávky přijímá každá pošta i doručovatel ● Objednávky do zahraničí vyřizuje PNS — vývoz tisku, Jindřišská 14, Praha 1 ● Dohlédací pošta Praha 07 ● Tiskne Naše vojsko, závod 01, Na Valech 1, Praha — Dejvice ● Za původnost příspěvků ručí autor. Redakce rukopis vrátí, bude-li vyžádán a bude-li připojena frankovaná obálka se zpětnou adresou ● Toto číslo vyšlo 23. 8. 1967

© Vydavatelství časopisů MNO, Praha

A-23*7139

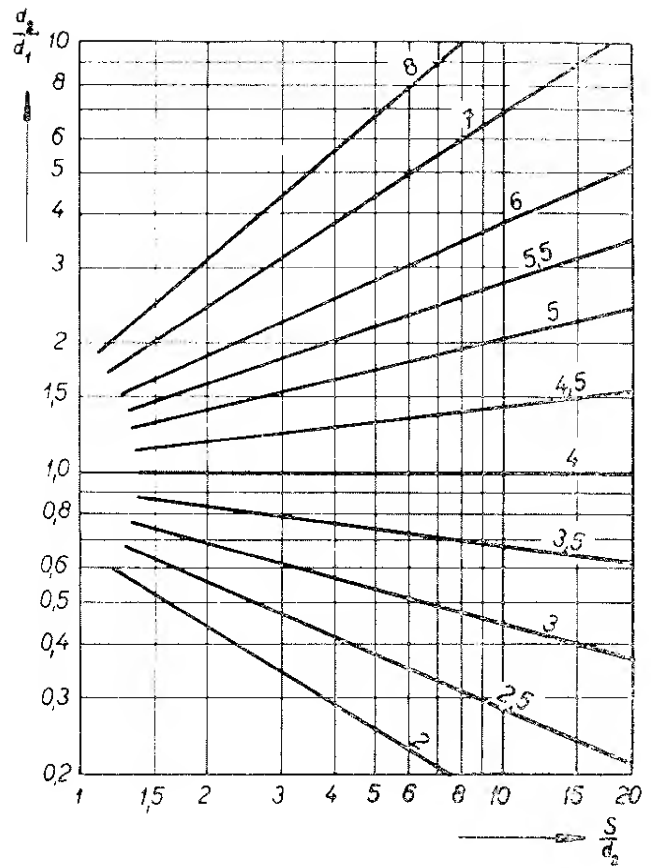
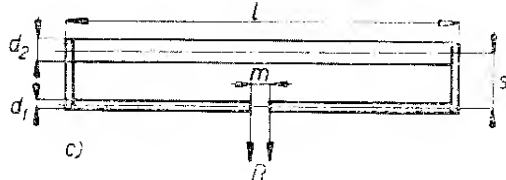
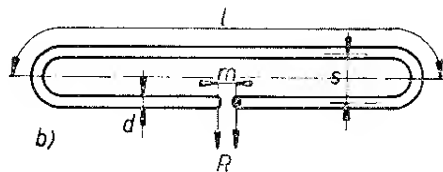
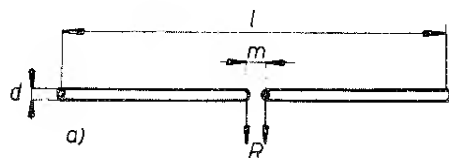


Nomogram ke stanovení odporu drátu

Odpor drátu určitého průměru a délky z různých kovů nebo slitin zjistíme podle nomogramu takto: bod odpovídající \varnothing drátu na stupnici označené d [mm] spojíme s bodem, který jsme k dané délce drátu v metrech vyhledali na stupnici l [m]. Průsečík spojnice obou těchto bodů se stupnicí R_{Cu} udává odpor měděného drátu hledané délky a průměru. Je-li drát z jiného materiálu, vedeme tímto průsečíkem přímku k bodu příslušnému použitému materiálu na stupnici označené ρ . Prodloužíme-li přímku opačným směrem, protne stupnici R [Ω] v bodě, který odpovídá hledanému odporu

Tab. 8. Dielektrická konstanta různých izolačních materiálů

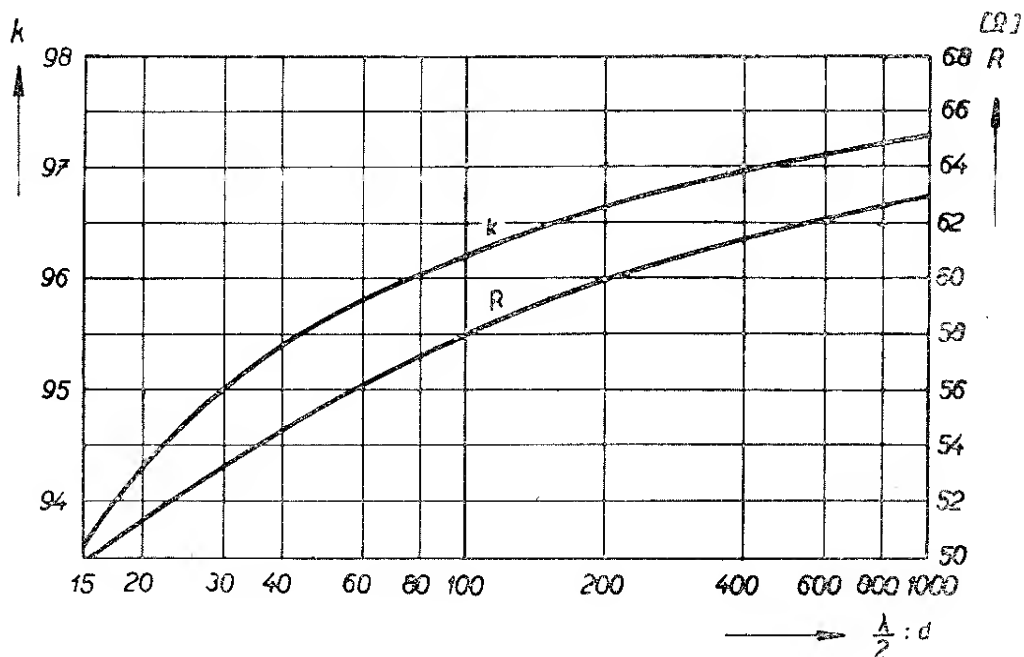
Vzduch	1
Lupolen	2,3
Trolitul	2,4
Styroflex	2,5
Mipolan	3,4
Organické sklo	3,5
Amenit	3,5
Buna S	3,7
Frekventa	5,0
Porcelán	5,0
Kalit	6,5

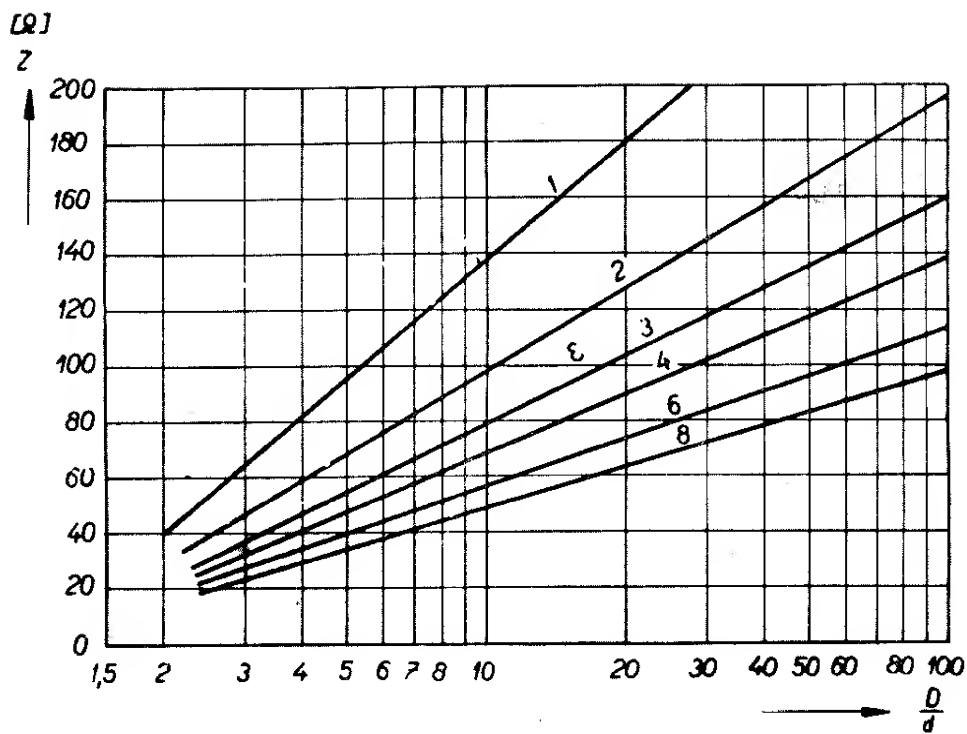


Obr. 59.

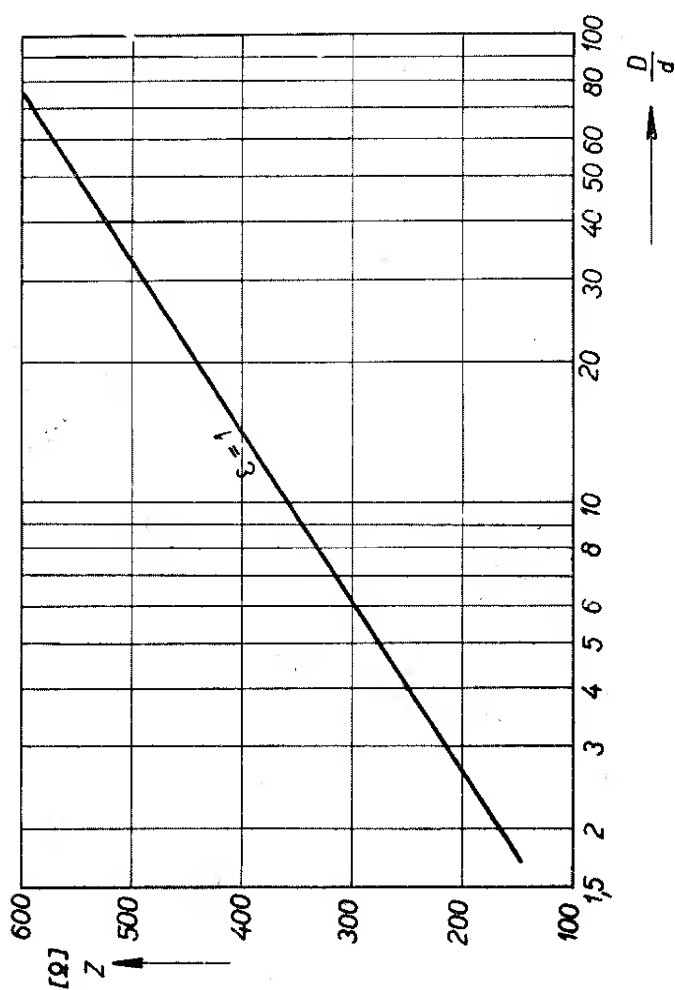
Obr. 57. ($m = 10 \div 30 \text{ mm}$)

Obr. 58.

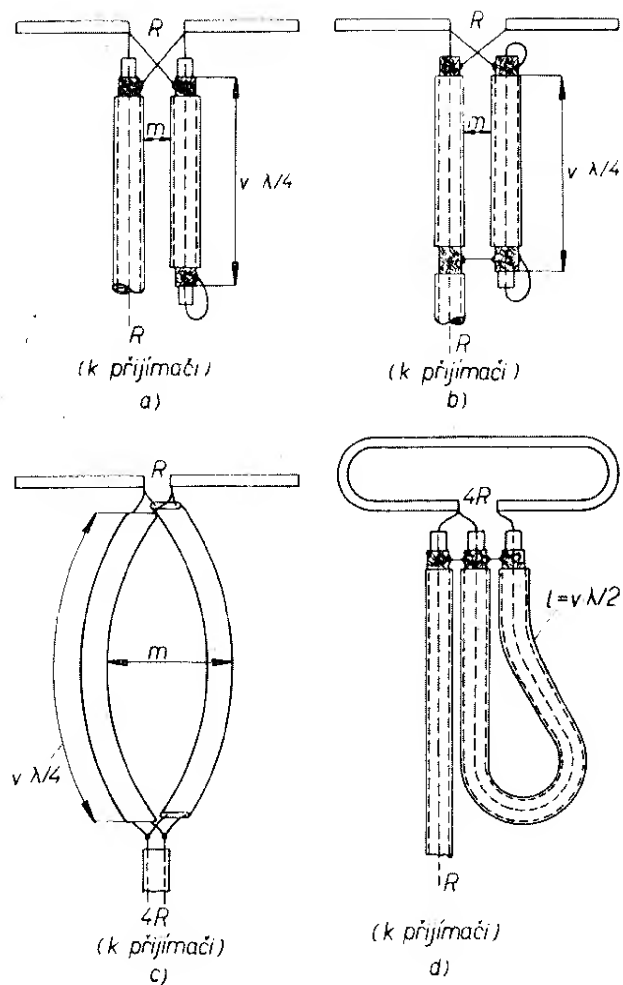




Obr. 60.



Obr. 61.



Obr. 62.